TOME XXVII, N° 3 1959

BULLETIN

DE

L'INSTITUT AGRONOMIQUE

ET DES

STATIONS DE RECHERCHES

DE

GEMBLOUX

INSTITUT AGRONOMIQUE
DE L'ÉTAT
GEMBLOUX (BELGIQUE)

COMMONWEALTH MYCOLOGICAL INSTITUTE
14 DEC 1959

congolaise et le nomma Commandeur de l'ordre de Léopold II. Il était titulaire de nombreuses autres ordres.

Cet érudit était un charmant homme, un collègue serviable, un professeur dévoué. Sa perte est douloureusement ressentie par les nombreux amis qu'il avait à l'Institut et dans le monde de l'agriculture d'outre-mer.

Le *Bulletin* exprime à sa Famille, la part qu'elle prend à son deuil.

E. S.

CHAIRE DE CONSTRUCTIONS DU GÉNIE RURAL
(Prof. L. Blanjean)

Contribution à l'étude des propriétés des matériaux de recouvrement des constructions horticoles et des conséquences de leur utilisation (*)

par A. Nisen

Résumé de quelques points traités dans la dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Agronomiques.

Chapitre II

CHEMINEMENT DE LA LUMIÈRE DANS UN VERRE « MARTELÉ » OU « MATÉ »

Pertes par Réflexion

1. — GÉNÉRALITÉS.

Le passage de la lumière au travers d'une paroi vitrée, *à faces parallèles*, ne pose aucun problème. Nous savons que le faisceau lumineux s'affaiblit à l'entrée et à la sortie du matériau d'une quantité égale au pouvoir réflecteur de ce dernier.

Ce pouvoir réflecteur (R) est fonction de la différence d'indice de réfraction entre l'air et le verre, et croît très rapidement avec l'angle que fait le faisceau avec la normale à la paroi.

Nous avons calculé ces valeurs de R et les pertes par réflexion aux interfaces air - verre et verre - air. Elles sont reprises dans les figures suivantes où elles servent de base de référence et de comparaison. (Graph. 1, entre autres 6 pages plus loin).

Le faisceau incident, amoindri par la perte qu'il subit à l'interface, se réfracte dans le verre puis, après une nouvelle perte proportionnelle au pouvoir réflecteur du matériau, « resort » dans l'air en reprenant une direction parallèle à celle d'incidence.

(*) Le chapitre I de la présente étude a déjà paru dans le n° 2 du *Bull. Inst. agr. Stat. Rech. Gembloux*, Tome XXVII, pp. 222-256.

Mais que se passe-t-il dans un verre dont les deux faces ne sont pas parallèles et planes ?

On utilise beaucoup, en horticulture, des feuilles de verre dit « *martelé* ». Celles-ci présentent généralement une face plane (ou considérée comme telle) et une seconde ornée de dessins en relief, s'assimilant assez à ce que l'on obtiendrait en faisant « sauter » des « coquilles » au burin dans un bloc de marbre. Il est malaisé de définir ces « dessins », d'autant plus que ceux-ci varient avec le type de verre envisagé.

Nous avons examiné un certain nombre de ces verres martelés et conclu que l'on pouvait, sans grande erreur, assimiler la face « martelée » à une série de concavités et convexités qui donnent, à une section, l'aspect d'une sinusoïde plus ou moins régulière, ou, plus schématiquement, d'une ligne brisée formant une succession d'arêtes régulières et symétriquement disposées.

Dans le verre « maté », une des faces (ou les deux) présente(nt) des concavités plus petites et plus serrées que nous pouvons comparer aux précédentes lorsque l'amplitude de celles-ci est réduite.

En conséquence, pour obtenir une première idée du phénomène du passage de la lumière au travers de ces verres spéciaux, nous avons dessiné une coupe schématisée d'un verre « martelé » courant et avons obtenu l'allure générale représentée par la fig. 9 : l'épaisseur moyenne maximum du verre est de 5 mm, l'épaisseur moyenne minimum étant d'environ 3 mm et l'« amplitude » des « dessins » atteignant 2 cm.

Pour éviter les inconvénients (et les solutions de continuité naissant dans la trajectoire des divers rayons) dus aux changements brusques de direction des arêtes de la ligne brisée, nous avons ensuite « arrondi les angles » de ce schéma et avons obtenu l'allure générale de la fig. 13 (sinusoïde approximative comme nous le disions plus haut).

En réduisant alors l'amplitude de moitié, deux fois successives, nous avons obtenu les représentations schématiques des fig. 10 et 11.

Par le même procédé d'adoucissement des angles, nous sommes arrivé, enfin, aux schémas des fig. 12 et 13.

2. — I^er^ CAS : FACE MARTELÉE DIRIGÉE VERS « LE BAS ».

a) Cheminement de la lumière dans un tel vitrage.

Les fig. 9 à 16 représentent quelques-uns des cas particuliers que nous avons étudiés.

Nous savions que les verres martelés et matés possédaient un fort pouvoir diffusant de la lumière et que leur « réclame », dans le commerce, était basée sur « une répartition idéale et uniforme de la lumière dans toute l'enceinte recouverte »...

Il est intéressant de suivre les rayons lumineux, d'angle d'incidence variable, au cours de leur trajet.

Nous nous sommes toujours arrangé pour que le faisceau *normal* à la surface sur laquelle il tombe atteigne *la seconde face* en un point choisi arbitrairement, en fonction des besoins du travail. Tous les rayons, quel que soit leur angle d'incidence, atteignent donc la première face au même point, et sortent à des endroits très divers et souvent inattendus...

Au cours de tout ce chapitre, 1) *nous supposerons l'absorption par le verre absolument nulle* (sauf spécification contraire formelle).

D'ailleurs, nous verrons plus loin que, compte-tenu des pertes par réflexion, l'absorption par le verre « ordinaire » est minime, si pas négligeable, tout au moins pour des épaisseurs traversées de l'ordre de 3 à 5 mm.

2) Nous nous sommes écarté très nettement de la ligne de conduite suivie par M. Smith dans un travail analogue, notre cas étant plus général, croyons-nous.

Envisageons, à titre d'exemple, le cas de la fig 9.

FIG. 9 à 13 : **Cheminement des rayons lumineux dans un verre « martelé » ou « maté »**
Faisceau incident normal, à l'aplomb du milieu de la dent.

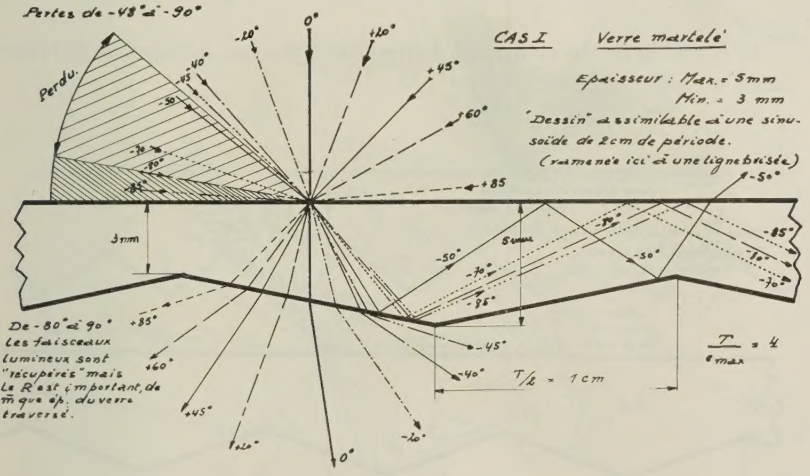


FIG. 9

Le faisceau incident normal (0°) est déjà, lui même, réfracté à sa sortie du verre.

Si nous donnons, aux rayons venant de droite, dans le plan de la section, le signe + et celui de — à ceux de gauche (et ce, uniquement pour les reconnaître plus aisément), nous voyons que dans le cas de la fig. 9, tous les faisceaux de droite (+) se réfractent une première fois puis sortent sans encombre. Ne tenons pas compte, maintenant, de la valeur du pouvoir réflecteur (et partant, des pertes par réflexion) en fonction de l'angle d'incidence ; nous concluons que, comme prévu, la lumière est largement diffusée dans toutes les directions.

Passons alors aux rayons « négatifs ». Jusque —47° environ, ces rayons sortent du verre sous un angle d'émergence croissant. Puis, *brusquement*, l'angle de réfraction limite étant atteint (42° pour le verre d'indice n = 1,5), on passe au cas de réflexion totale sur la face « martelée ». Suivons ces rayons au cours de leur trajet, nous nous apercevons rapidement que certains (tels ceux faisant un angle d'incidence de —50° à —79°) «resortent» par la face d'incidence, tandis que d'autres (de —80 à —90°) finissent par traverser le verre après avoir parcouru des trajets variant de 5 à 15 cm dans la feuille de verre, rejetés qu'ils sont, successivement, par les deux faces lorsqu'ils les abordent sous un angle supérieur à l'angle limite.

Nous pouvons donc conclure que, même sans tenir compte des pertes par réflexion, une partie assez importante des rayons lumineux est perdue pour les plantes abritées sous pareille couverture. Dans le cas étudié, les rayons sont rejetés par la face qui les a reçus.

De même, 6% des rayons parcourent un tel trajet dans le matériau que, même compte-tenu de la réflexion, ils ont perdu la plus grande partie de leur intensité avant d'atteindre leur but.

Le cas de la fig. 10 montre un autre aspect de cheminement de la lumière dans un verre martelé.

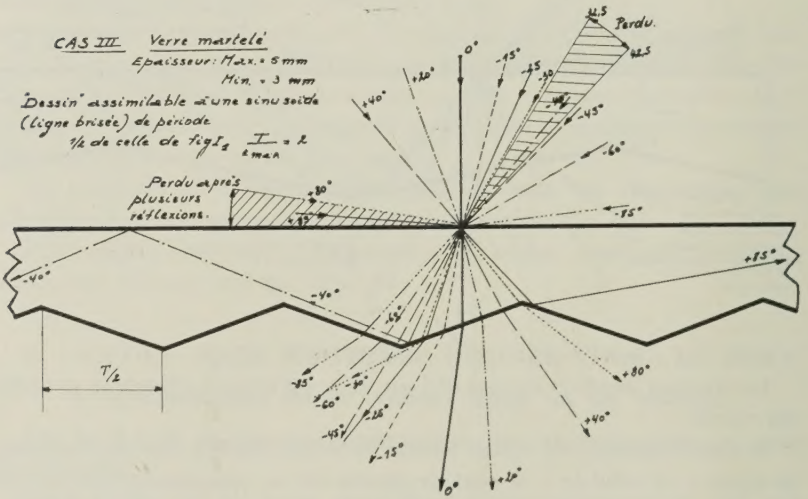


FIG. 10

Ici, pour un même point d'incidence (milieu de l'arête), comme le rapport : arête/épaisseur est plus petit, une partie des rayons + et — aborde, sans transition, l'arête suivante qui fait un angle de 140° avec la première.

Ce changement brusque d'orientation de la face d'émergence provoque, pour les rayons de + 81 à + 90°, une réflexion totale, et pour les rayons de plus de —40°, un redressement de trajectoire et leur permet une traversée directe, alors que l'angle limite avait été atteint aux environs de —31°.

Nous voyons, par conséquent, un cheminement global très différent de celui observé à la fig. 9, bien que ces deux cas se correspondent entièrement. Seules, les dimensions des arêtes du « dessin » ont varié.

A la fig. 11, « l'amplitude » du dessin étant réduite au quart de l'initiale, les rayons positifs, d'angle d'incidence croissant, abordent successivement 3 faces différentes, et la plupart de ceux qui correspondent à la face abordée presque parallèlement sont, logiquement, réfléchis et rejetés vers l'extérieur.

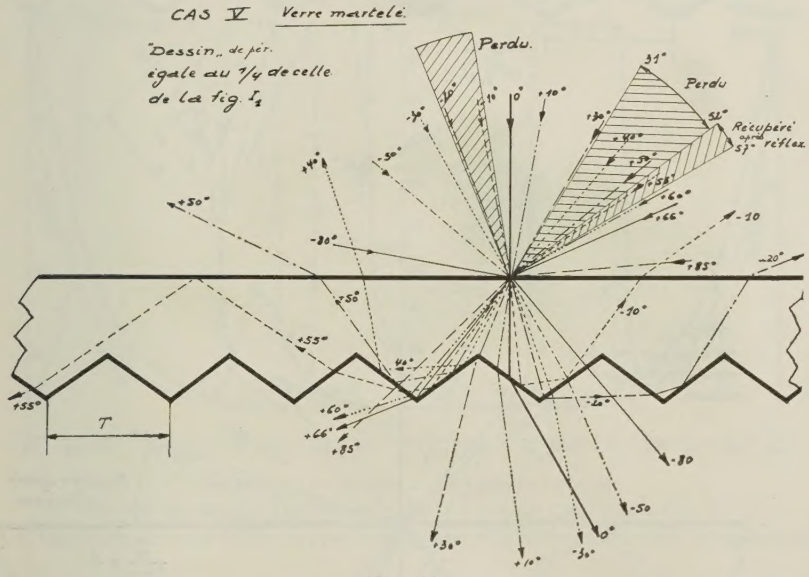


FIG. 11

Nous observons donc deux solutions de continuité dans le passage des rayons : de —8 à —22° et de +31 à +52° ; les rayons dont l'angle d'incidence est compris entre 52 et 57° n'étant « récupérés » qu'après plusieurs réflexions totales. 19 à 20% des rayons incidents sont, en conclusion, certainement perdus (même compte non-tenu des pertes par réflexion).

Remarquons que les rayons « perdus » ne correspondent pas à ceux qui l'étaient dans le 1er cas, ce qui joue un rôle certain dans la recherche de l'orientation idéale des batiments vitrés.

Cheminement des rayons lumineux dans deux autres types de « martelage ».

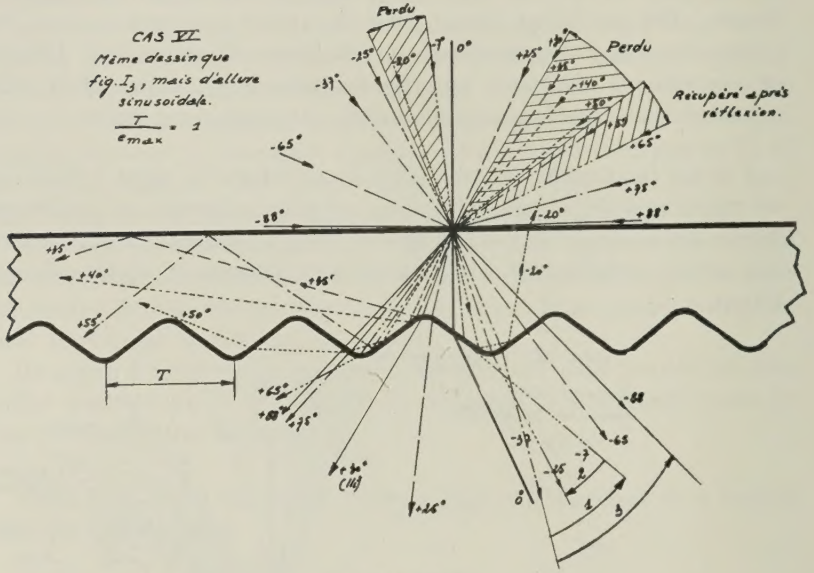


FIG. 12

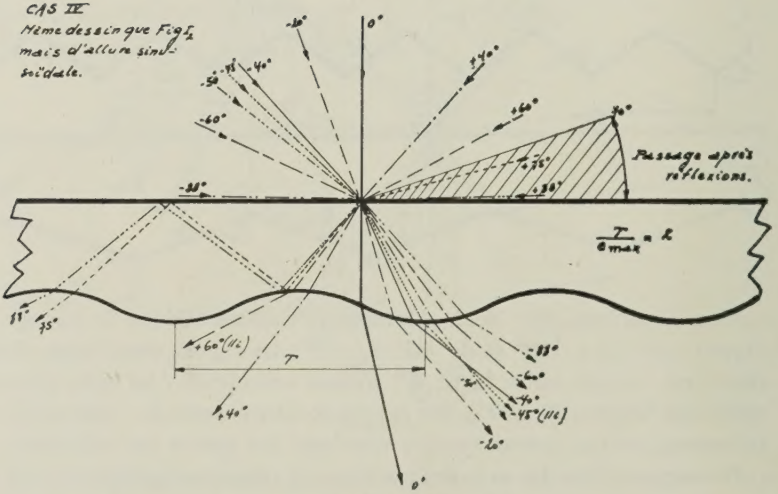
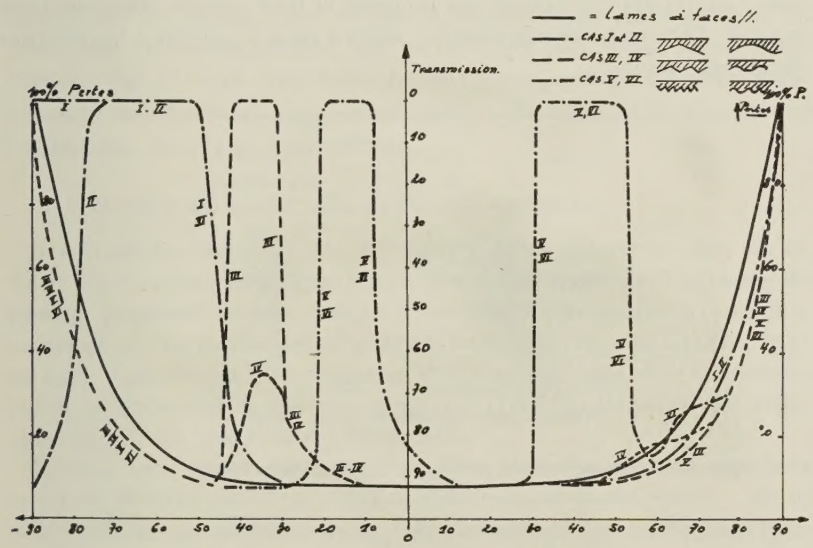


FIG. 13

b) **Variation du pouvoir réflecteur du verre martelé en fonction de l'angle d'incidence, des dimensions relatives et de la « forme » des dessins.**

En d'autres termes, quelles sont effectivement les pertes par réflexion de faisceaux lumineux abordant les 2 types de verre martelé (ondulés ou en ligne brisée) des 3 dimensions relatives que nous avons choisies plus haut?

Pour résoudre ce problème d'une manière assez exacte portons, sur un graphique (graph. 1), et en ordonnées, les pertes par réflexion, subies par les rayons d'angle d'incidence différent, l'angle de ces rayons étant placé en abcisses (voir aussi fig. 9 à 13).



GRAPH. 1. — *Variation du pouvoir réflecteur*
en fonction de l'angle d'incidence, pour 3 « dessins » différents (fig. 9 à 13)
(l'angle d'incidence de la lum. est porté en abcisses et le pouvoir réflecteur, en ordonnées)

Pour établir ces pertes, suivons chaque rayon lumineux et relevons l'angle qu'il fait avec chacune des interfaces air—verre et verre—air ; nous pouvons ensuite déduire l'importance des pertes par réflexion à chaque changement de phase en nous reportant aux courbes exprimant la valeur du pouvoir réflecteur en fonction de l'angle d'incidence.

Nous obtenons de la sorte, des courbes d'allure étonnante :

1) L'INFLUENCE DE L'ANGLE D'INCIDENCE est assez clairement mise en évidence par ce Graphique 1 : les rayons subissant le plus de pertes varient d'un cas à l'autre, en fonction, cela se comprend, de l'inclinaison des faces

par rapport à celle des rayons lumineux. Dans le cas de la fig. 9, ce sont surtout les rayons que nous avons appelés « négatifs » qui sont perdus en quantité importante, fonction directe de la valeur de leur angle d'incidence. Aux fig. 10 et 11, la perte a trait à des rayons d'incidence moyenne, rayons positifs ou négatifs.

Les solutions de continuité des faces, de même que la présence d'un angle limite rendent la résolution mathématique de ce problème très ardue sinon impossible. Bien que nous sachions que ce calcul ne possède qu'une signification très particulière, faisons la moyenne arithmétique des pertes, pour chaque cas ; nous obtenons les valeurs consignées au tableau ci-dessous : son interprétation doit être prudente et tenir compte des conditions exactes d'obtention de ces valeurs... comme nous le verrons à la remarque de la page suivante.

Cas	Rapport $p/e_{max.}$*	Moyenne des pertes %
I	4	36,5
II	4	29,8
III	2	25—
IV	2	21,1
V	1	38,6
VI	1	39,3
Verre à faces parallèles		22,3

(*) Voir définition du rapport p/e_{max} à la remarque suivante.

2) Influence des dimensions relatives « onde »—verre.

Nous pouvons conclure du tableau ci-dessus, lorsque le point d'incidence des rayons est choisi au droit du milieu de l'arête du « dessin », que :

a) seul, le cas de la fig. 13, (c'est-à-dire le verre martelé à face inférieure sinusoïdale de « période » 1 cm) présente des pertes par réflexion inférieures à celles observées dans le cas du verre à 2 faces parallèles mais que ces différences ne sont pas significatives si l'on tient compte de la précision atteinte graphiquement.

b) dans tous les autres cas, le pouvoir diffusant du matériau est accompagné d'une diminution d'intensité lumineuse effective de l'ordre de 25 à 40 %, soit un excédent de 3 à 17 % sur le verre à faces parallèles.

Remarque

Dès maintenant, il importe d'attirer l'attention du lecteur sur le danger qu'il y a à généraliser les conclusions que nous venons de tirer. Celles-ci ne sont valables que pour un seul rayon lumineux, celui qui tombe parfaitement au milieu de l'arête envisagée. Les chiffres moyens calculés ne donnent même pas une idée très vague du résultat général et partant, de la valeur des verres martelés par rapport à celle du verre à faces parallèles. Ils n'ont qu'un intérêt, pour nous, c'est de jouer le rôle de point de comparaison *relatif* entre le comportement des divers « types » de martelés choisis. Ils nous montrent que, dans des conditions strictement identiques, l'amplitude du « dessin » par rapport à l'épaisseur du matériau joue un grand rôle. Il semble, en effet, que les pertes les plus faibles soient observées aux fig. 10 et 13, c'est-à-dire lorsque le rapport « période du dessin/épaisseur maximum » ($p/e_{max.}$) vaut : $\frac{1 \text{ cm}}{0{,}5 \text{ cm}} = 2$. Lorsque ce rapport croît ou diminue, les pertes s'intensifient.

3) Influence de la nature même de l'« onde ».

Si l'on compare les cas I, III et V (graph. 1) respectivement aux cas II, IV et VI, du même graphique, c'est-à-dire si l'on recherche l'influence du passage progressif et non brusque d'une face à une autre du « dessin », ou mieux si l'on met en parallèle les cas de face martelée en ligne brisée et en ligne « sinusoïdale », on remarque que le second type de « martelage » réduit généralement de quelques pourcents (1 à 7 %) les pertes par réflexion, ce qui est quand même appréciable.

Notons, pour terminer, la présence d'un petit ressaut inattendu vers + 60, + 70°, aux cas IV et VI, et la réduction des pertes entre —20 et —40° (cas IV par rapport au cas III) et entre —70 et —90° (cas II par rapport au cas I).

Il paraît donc, en général, *plus intéressant d'utiliser un verre* (martelé ou maté) *dont le « dessin » s'inspire* davantage *de lignes courbes* que brisées.

C'est en partant de cette conclusion que nous avons cru intéressant de généraliser, autant que faire se peut, le cas n° II (fig. 14 et sqq.).

CAS II : GÉNÉRALISATION

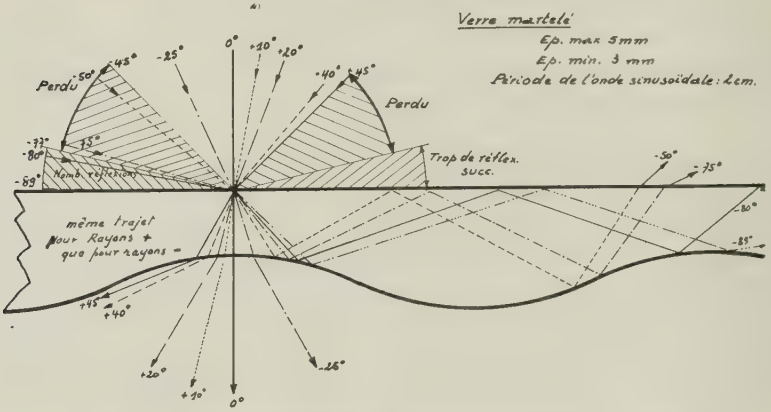


FIG. 14. — Faisceau incident au « droit » du « sommet » de l'onde

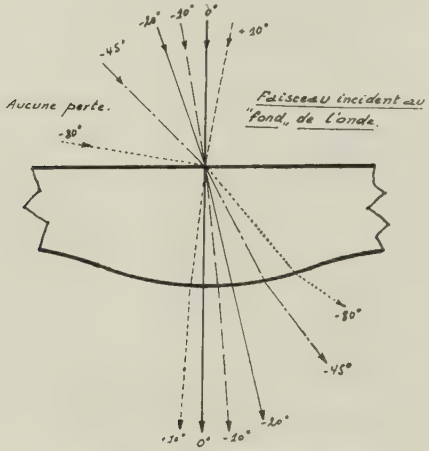


FIG. 15. — Faisceau incident au « fond » de l'onde

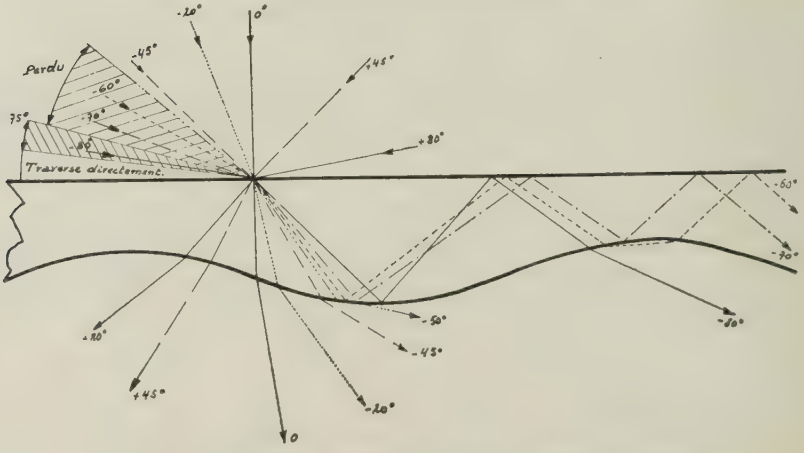


FIG. 16. — Faisceau incident au droit du « milieu » de l'onde

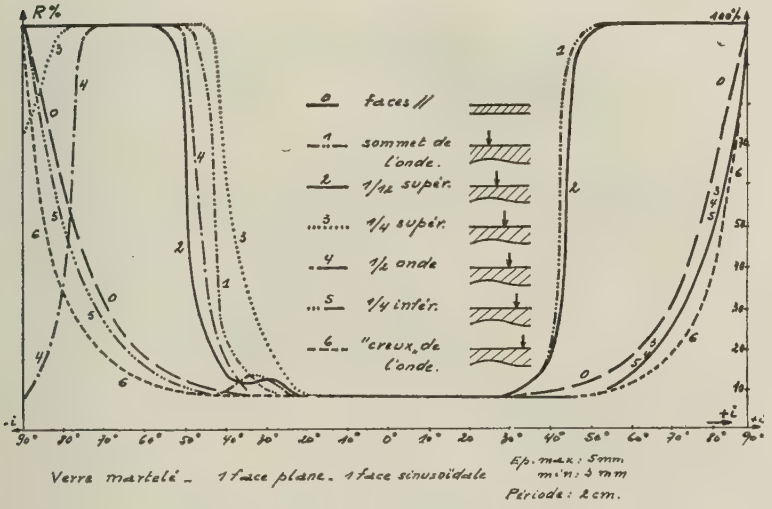
c) **Variation du pouvoir réflecteur.** — Généralisation.

A. — Généralisation « à deux dimensions ».

Nous avons donné, ci-dessus, une idée de l'importance des pertes, pour les divers cas étudiés (I à VI du graph. 1 et fig. 9 à 13) lorsque le rayon incident tombe au droit du milieu de l'onde.

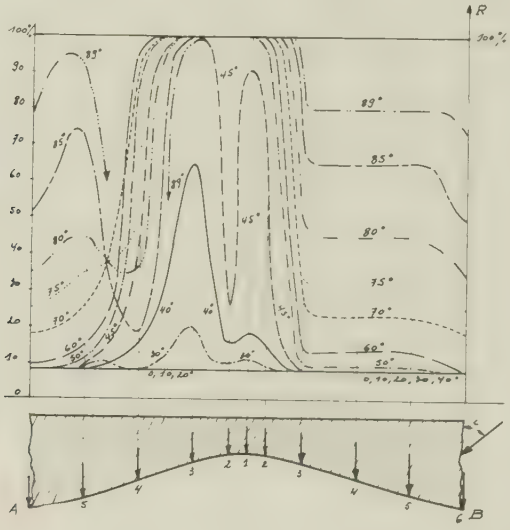
Nous allons maintenant essayer de généraliser un cas intéressant (celui des fig. 14 et sqq.), c'est-à-dire envisager l'influence du déplacement du pinceau lumineux le long de l'onde, et ce, pour les diverses inclinaisons du faisceau incident. Le faisceau lumineux est supposé de largeur très faible et de longueur égale à celle de l'onde représentant le martelage.

Nous avons résolu entièrement 6 cas et partiellement un assez grand nombre. Nous donnons (fig. 14 à 16), 3 des 6 cas pré-cités, choisis parmi les plus typiques ; l'allure générale des résultats que l'on peut tirer des cas envisagés est reportée au graphique 2.



Graph. 2. — *Variation du pouvoir réflecteur*
en fonction de l'angle d'incidence et de la position du point d'incidence sur l'onde

Il est assez malaisé de tirer des conclusions à partir de ce graphique, et de trouver une relation entre les 6 cas étudiés, relation montrant l'allure générale de variation du pouvoir réflecteur en fonction du point d'incidence du rayon.



GRAPH. 3. — Généralisation pour un faisceau lumineux d'épaisseur = AB = 2 cm
(Généralisation « à deux dimensions »)

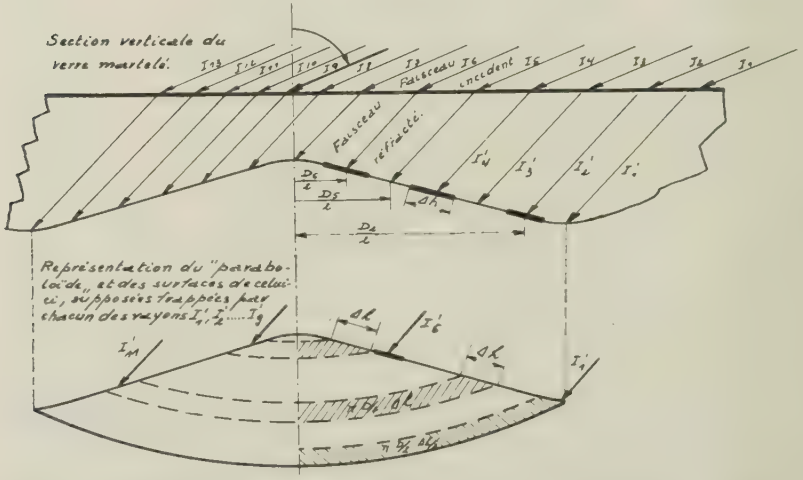


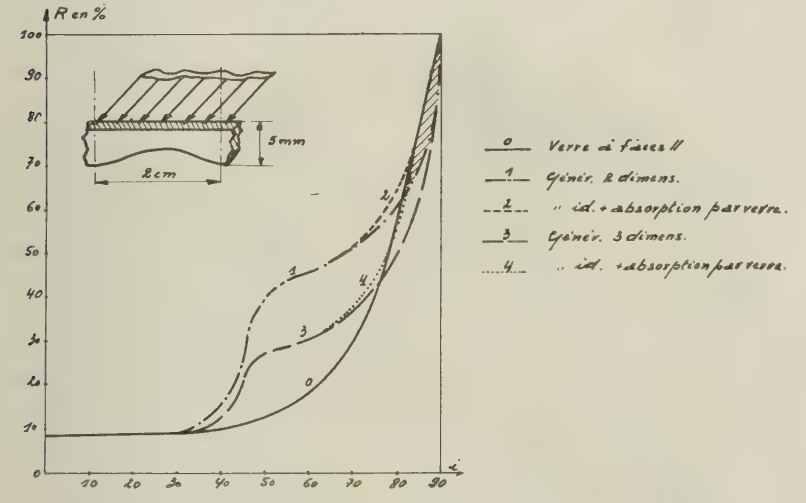
FIG. 17. — Généralisation. Faisceau cylindrique couvrant l'entièreté du « volume »

C'est pourquoi, nous avons établi le graphique 3, dans lequel ce ne sont plus les angles d'incidence mais bien *les positions du faisceau par rapport à l'onde du verre martelé* qui sont portées en abcisses. Les diverses courbes correspondent à des angles d'incidence déterminés.

Pour arriver à un degré d'exactitude suffisant dans l'établissement des diverses courbes du graphique 3, nous avons, outre les 6 cas cités plus haut, résolu partiellement une bonne dizaine d'autres, travail destiné à nous donner des « points intermédiaires » des courbes établies. Nous ne ferons, cela se conçoit, pas mention de tous ces résultats partiels.

Dans l'établissement de ce même graphique, nous avons considéré les angles négatifs comme correspondant aux angles choisis, mais pour la face « opposée » à la première.

Une représentation schématique de la conception du graphique pour un angle déterminé est donnée en médaillon du graphique 4. On y voit que l'épaisseur du faisceau lumineux choisi est très faible, tandis que sa largeur correspond à l'amplitude de l'onde du verre.



GRAPH. 4. — Généralisation du pouvoir réflecteur du verre martelé

B. GÉNÉRALISATION « À TROIS DIMENSIONS ».

Une généralisation complète, « à trois dimensions », revient non pas à calculer la moyenne globale du pouvoir réflecteur en fonction de l'angle d'incidence, comme nous l'avons fait au graphique 4 courbe 2 ; mais à chercher à obtenir, en quelque sorte, une « *moyenne pondérée* » en affectant chaque rayon choisi, d'incidence donnée, d'un coefficient tenant compte de l'importance de la surface susceptible de le capter (fig. 17).

TABLEAU I : **Valeur du pouvoir réflecteur (R) dans le cas du martelage étudié** (cas II, fig. 14-16)

ANGLE D'INCIDENCE	0 à 20	30	40	45	50	60	70	80	85	R moy.
Compte non-tenu de l'absorption par le verre										
Verre martelé	8,4	9,1	12,3	20,8	27,4	30,2	38,8	49	63,6	25,6
Verre à faces parall.	8,4	9	9,5	10,4	11,9	17,6	29,9	61	83,5	23,4
Différence :	—	+0,1	+ 2,8	+10,4	+15,5	+12,6	+ 8,9	—12	—20	+ 2,2
Compte-tenu de l'absorption										
Verre martelé	8,4	9,1	12,3	20,8	27,4	30,2	38,8	55,7	83	27
Verre à faces parall.	8,4	9	2,8	10,4	11,9	17,6	29,9	61	83,5	23,4
Différence :	—	+0,1	+ 2,8	+10,4	+15,5	+12,6	+ 8,9	— 5,3	— 0,5	3,0

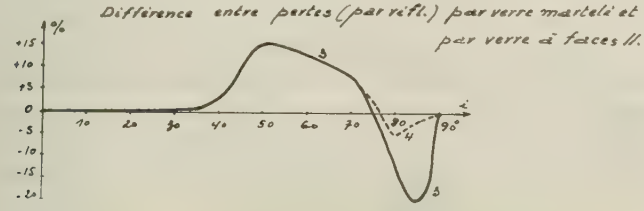
TABLEAU II : **Valeur de R dans le cas du second type de martelage étudié** (voir p. 272).

ANGLES D'INCIDENCE	0 à 20	30	40	45	50	60	70	80	85	R moy.
Verre à faces parallèles	8,4	9	9,5	10,4	11,9	17,6	29,9	61	83,5	23,4
Verre martelé (1)	8,4	8,7	11,8	19,2	25	27,6	36,1	46,3	60,4	24,9
Cas précédent (2)	8,4	9,1	12,3	20,8	27,4	30,2	38,8	49	63,5	25,6

(1) Compte non-tenu de l'absorption par des épaisseurs de verre supérieures à 1 cm.
(2) Compte-tenu de ce phénomène.

Assimilons à un paraboloïde de forme assez peu académique ou à une calotte sphérique la figure obtenue en faisant tourner, autour d'un axe vertical passant par le sommet de l'onde, la sinusoïde représentant, en coupe, le « martelage ». Effectuons les calculs de correction. Nous obtenons les valeurs (du pouvoir réflecteur en fonction de l'angle d'incidence) reprises au tableau nº I ci-contre.

Enfin, au graphique 5, nous avons reporté, sous forme de courbes, les différences de pouvoir réflecteur entre verre martelé et verre à faces parallèles, et ce en fonction de l'angle d'incidence des rayons lumineux. La courbe 4 est celle qui tient compte de l'absorption par le verre pour des épaisseurs de verre traversées par le rayon de plus de 1 cm.



GRAPH. 5. — Généralisation « à trois dimensions » du R (verre martelé)
Différences entre pertes dues aux deux types de verre

Il est à remarquer que si l'on calcule de R moyen obtenu grâce à la généralisation « à 3 dimensions », on tend à minimiser assez fortement l'importance des pertes par diffusion par le verre martelé.

Il semblerait que ce verre, dans le cas du martelage choisi, ne crée, par la présence de ce dessin, qu'une perte moyenne par réflexion supérieure de 3,6 % seulement à celle observée sur un verre à faces parallèles, et ce, pour l'ensemble des possibilités d'éclairement, c'est-à-dire pour tous les angles d'incidence réunis ou, au fond, dans le cas de la lumière *diffuse*.

Lorsque nous n'envisageons pas le cas de cette lumière diffuse, mais plutôt celui d'un faisceau incident déterminé, correspondant à une position du soleil bien fixée, il est plus logique de s'arrêter aux valeurs données par les courbes 3 ou, de préférence 4, du graph. 4. Quel que soit l'azimut du soleil et celui du verre, ce pouvoir réflecteur moyen du verre martelé prend les valeurs du tableau ci-avant (qui sont celles que l'on peut lire sur les courbes 3 et 4). De cette façon, nous remarquons (graphique 5) que la plus grande différence entre les valeurs des pertes (verre martelé — verre à faces parallèles) est de l'ordre de 15,5 % (à l'avantage du verre ordinaire) pour le faisceau d'incidence égale à 50º.

Puis la différence passe à l'avantage du martelé, mais il faut tenir compte de ce que cet avantage est tempéré par un allongement très sensible du

chemin à parcourir par le rayon dans le verre (chemin de l'ordre de 10 à 15 cm) ce qui peut causer l'extinction du faisceau... (courbe 4).

En résumé, si nous ne tenons compte de l'absorption par le verre qu'à partir d'épaisseurs de l'ordre du cm, la courbe 4 représente assez bien le phénomène et montre que des pertes supplémentaires par réflexion causées par la présence de «dessins» à la face inférieure du verre martelé commencent à se faire sentir à partir de 30°, qu'elles atteignent leur intensité maximum vers 50°, et qu'ensuite elles se rapprochent progressivement de celles du verre à faces parallèles.

d) **Autre martelage.**

D'autres « martelages » sont basés sur le même schéma. Mais la partie inférieure de l'onde est élargie, c'est-à-dire que le coefficient que nous avons donné aux rayons tombant au creux de ces ondes croît en proportion ; le résultat est que la différence avec le verre à faces parallèles se réduit encore d'une façon sensible. A ce moment, à part une diffusion de la lumière dans l'enceinte recouverte, on peut admettre que rien ne différencie ces deux types de verre, en ce qui concerne les pertes par réflexion en tout cas.

Si, par exemple, la portion basse de l'onde est allongée de telle façon que le « creux » ait une longueur égale à une 1/2 « amplitude », on obtient les résultats repris au tableau n° II (se reporter 2 pages en avant).

Le R moyen montre que la différence avec le verre à faces parallèles devient minime (0,7 % contre 2,2 dans le cas précédent). Si nous tenons compte de l'absorption par des épaisseurs de verre de l'ordre du cm au moins, la différence est ramenée à (2,2 %) ce qui semble quand même bien près de démontrer l'identité des cas étudiés, pour un rayonnement supposé d'égale intensité dans toutes les directions (Rayonnement diffus). Cependant, la même remarque que dans le type de martelage précédent doit être faite en ce qui concerne la valeur réelle d'une diffusion moyenne pour tous les angles d'incidence.

Conclusions

La comparaison des résultats obtenus par les deux méthodes de généralisation montre une réduction — anormale, semble-t-il — des pertes par réflexion du verre martelé.

Et pourtant, nous croyons que la seconde généralisation (celle « dans l'espace »), est plus exacte que la première qui correspond, au fond, au cas d'une feuille de verre dont le martelage serait constitué de gorges parallèles, et non pas de petits éclats ressemblant plus ou moins à des calottes sphériques, gorges orientées transversalement à la pente du chassis supportant le vitrage.

Étant donné que les rayons qui atteignent le sommet de la calotte sont justement ceux auxquels correspond le plus grand pouvoir réflecteur, et que, dans le cas étudié, la surface qui peut les recevoir (et, partant, occasionner ces fortes pertes) est minime par rapport à la surface totale, il nous paraît logique que les pertes, qui semblaient de prime abord assez importantes, soient en fait assez réduites dans certains cas. Nous croyons par conséquent en l'exactitude de notre méthode.

e) **Conséquences pratiques de l'emploi de verre martelé.**

Nous avons déjà noté qu'il était plus logique de ne pas calculer une valeur moyenne des pertes par réflexion par simple établissement de la moyenne arithmétique de ces pertes pour les divers angles d'incidence du faisceau lumineux. En effet, en tenant compte des angles faits par le soleil avec la normale à la paroi au cours d'une journée, on arrive à des résultats tout-à-fait différents et d'ailleurs bien plus représentatifs. Autrement dit, on attribue à chaque angle d'incidence, un coefficient de pondération déterminé dans des cas bien particuliers.

Choisissons le *jour d'intensité lumineuse solaire minimum : le 21 décembre* ; nous pourrons ainsi nous faire une idée exacte de l'influence *maximale* de l'utilisation d'un verre martelé (plutôt que celle d'un verre à face parallèles).

Calculons l'intensité lumineuse arrivant au niveau de la paroi, pour toutes les inclinaisons possibles de celle-ci et quelle que soit son orientation.

Déterminons de même l'angle fait, dans chaque cas, par le soleil avec la normale au plan et reportons cette valeur dans le graphique 4 (courbes 0 & 3) ; nous obtenons ainsi la valeur du pouvoir réflecteur à tout instant.

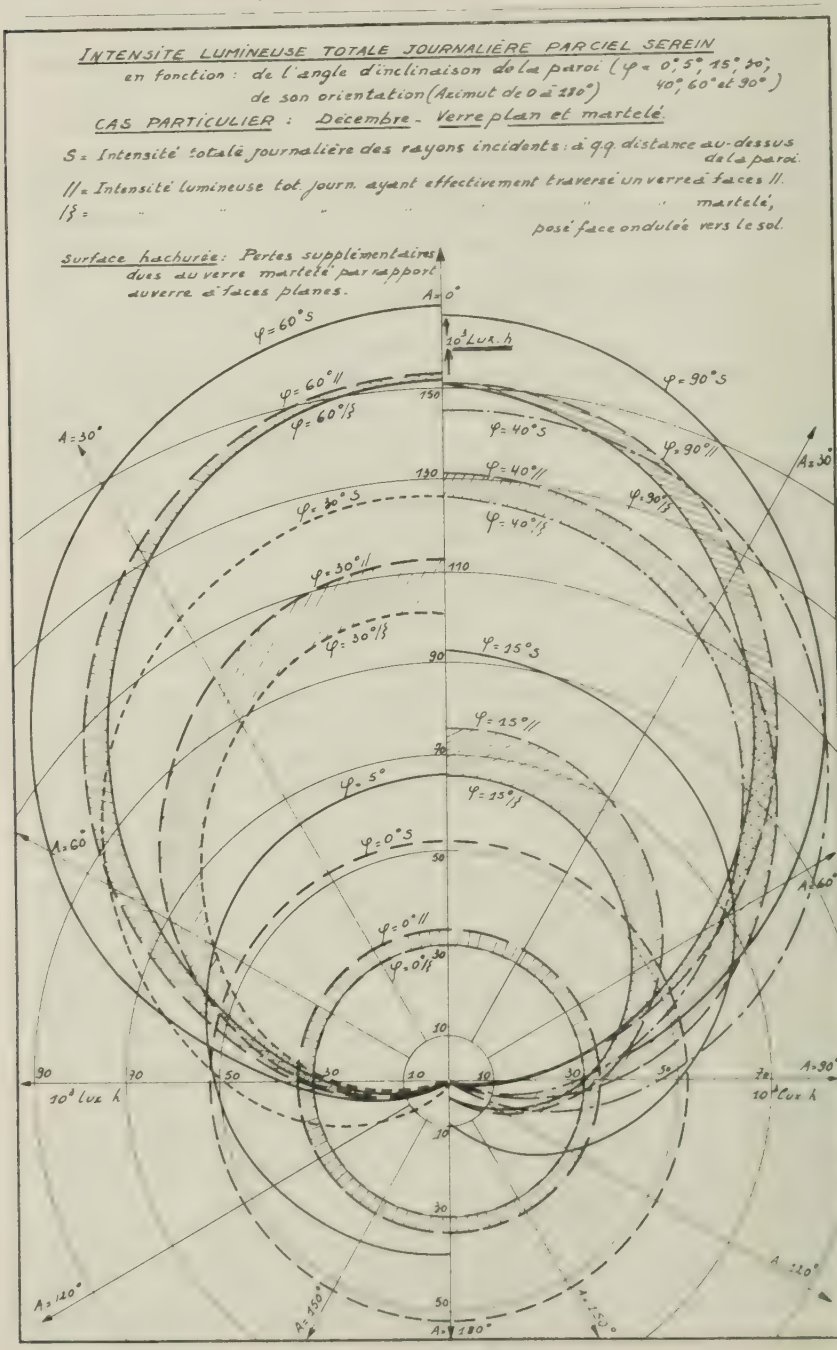
Admettons, de façon à rendre le calcul possible, une valeur moyenne de l'intensité du rayonnement solaire pour une heure complète (valeur égale à celle de la demi-heure correspondante), et partant, une hauteur et un azimut déterminés de la même façon (= ce sont ceux correspondant au soleil à la trentième minute de chaque heure).

Faisons enfin le total de l'intensité lumineuse, exprimée en lux. et calculée pour chaque heure du jour. Nous obtiendrons des *lux. heures* représentant, à un facteur de proportionnalité près, la valeur de l'intensité lumineuse reçue au niveau de la paroi.

Répétons ces calculs en tenant compte cette fois des divers pouvoirs réflecteurs correspondant aux angles (soleil - normale au plan) et à la nature de verre utilisé (courbes 0 ou 3 graph. 4).

Nous aurons, ce faisant, établi la valeur relative de l'intensité lumineuse susceptible d'arriver au niveau des végétaux, ou, si l'on veut, la fraction perdue par réflextion sur les deux faces de l'un ou l'autre verre.

Ces calculs étant excessivement longs et fastidieux, nous nous bornerons à donner quelques résultats sous forme de graphique (voir graph. 6).


INTENSITÉ LUMINEUSE TOTALE JOURNALIÈRE PAR CIEL SEREIN
en fonction : de l'angle d'inclinaison de la paroi (φ = 0°, 5°, 15°, 30°, 40°, 60° et 90°)
de son orientation (Azimut de 0 à 180°)
CAS PARTICULIER : Décembre - Verre plan et martelé.
S = Intensité totale journalière des rayons incidents à qq distance au-dessus de la paroi.
// = Intensité lumineuse tot. journ. ayant effectivement traversé un verre à faces //.
/β = " " " " " " martelé,
posé face ondulée vers le sol.
Surface hachurée : Pertes supplémentaires dues au verre martelé par rapport au verre à faces planes.
A = 0°
10³ Lux. h
φ = 60° S
φ = 60° //
φ = 60° /β
φ = 90° S
φ = 40° S
φ = 40° //
φ = 40° /β
φ = 90° //
φ = 90° /β
A = 30°
A = 30°
φ = 30° S
φ = 30° //
φ = 30° /β
φ = 15° S
φ = 15° //
φ = 15° /β
φ = 5°
φ = 0° S
φ = 0° //
φ = 0° /β
A = 60°
A = 60°
150
130
110
90
70
50
30
10
90
70
50
30
10
10
30
50
70
90
10³ Lux h
10³ Lux h
A = 90°
A = 120°
A = 120°
A = 150°
A = 150°
A = 180°

GRAPH. 6

Le graphique 6 est en quelque sorte double. Les courbes représentant l'intensité lumineuse totale pour le jour envisagé (en lux. heures) sont symétriques par rapport à l'axe A = O (orientation Sud). Nous en avons par conséquent négligé alternativement l'une et l'autre moitié de façon à ce que le graphique reste clair. Pour des orientations (Azimuts) de 0 à 180°, et pour des inclinaisons de la paroi (q) de 0° (surface horizontale), 5°, 15°, 30°, 40°, 60° et 90° (surface verticale), nous pouvons de cette façon lire l'intensité lumineuse relative reçue par la paroi et mesurée à quelque distance de celle-ci (S) puis par les végétaux sous celle-ci lorsque le verre est à faces parallèles ou martelé ; les surfaces hachurées représentent en quelque sorte, l'avantage du premier sur le second.

Par exemple : Une surface inclinée de 15° sur l'horizontale et dirigée vers le Sud (A = O) reçoit au cours de la journée, un total de 92.235 lux. heures. Si cette paroi est constituée de verre ordinaire, 75.980 lux. heures parviendront aux végétaux croissant en dessous ; cela représente 82,4 % de l'intensité lumineuse incidente. Les pertes s'élevent donc à 17,6 %.

Sous verre martelé, les plantes ne recevront que 64.440 lux. heures soit 69,9 % de l'intensité incidente ; la perte s'évalue à 30,1 % c'est-à-dire **12,5 % de plus que sous verre ordinaire !**.

Nous sommes par conséquent loin de la différence de l'ordre de 2 - 3 % à laquelle nous conduisait une moyenne arithmétique des pertes pour les divers angles d'incidence. La plus grande différence relative : verre ordinaire/verre martelé s'observe pour une paroi inclinée de 40° sur l'horizontale et de 60° d'azimut. (14,3 %).

La plus faible différence (en lux. heures) est observée pour une surface verticale orientée vers le Sud. (0,3 %).

NOTE

Toutes les valeurs reprises au graphique 6 correspondent à l'intensité lumineuse totale reçue au cours de toute une journée, par ciel serein (très beau temps).

Nous voyons que si le verre martelé permet parfois un gain de lumière par rapport au verre à faces parallèles, ce phénomène n'a lieu que pour des parois orientées vers le N.-E ou le N.-W. pour lesquelles l'Intensité lumineuse directe est tellement faible que le phénomène n'influence qu'à peine les résultats généraux.

Dans l'ensemble donc, la différence entre les intensités lumineuses perdues par réflexion au niveau des deux matériaux est nettement plus élevée que ce à quoi l'on aurait pu s'attendre.

f) **Vérification expérimentale de l'exactitude du calcul.**

Lorsque l'on mesure l'intensité lumineuse effectivement reçue, on se rend immédiatement compte qu'aux rayons directs du soleil vient s'ajouter la lumière diffuse. Mais celle-ci, comme admis plus haut, peut être considéré comme également diffusée au niveau des verres (ordinaire ou martelé).

Dès que le soleil se lève, les intensités mesurées sous les deux types de verre se différencient nettement de celle relevées « en plein air ».

Nous avons enregistré les intensités lumineuses de plusieurs journées de décembre, correspondant à celles calculées. Les différences observées sous verre ordinaire et verre martelé croissent avec l'intensité des rayons solaires en partant de valeurs identiques par lumière diffuse.

Nous avons par exemple relevé, à 11 h., le 6 décembre, des valeurs proportionnelles à 7,10 sous verre et 6,51 sous martelé. Comme nous n'avons pas encore reçu l'entièreté des valeurs que nous avons fait calculer par le service de la CECE*, il nous est impossible de déterminer avec certitude la quote-part luminosité directe/luminosité totale.

Remarquons cependant que des estimations faites nous permettent d'admettre qu'il y a concordance entre résultats théoriques et mesures pratiques. Nos prochains travaux nous permettront d'ailleurs de vérifier l'exactitude de cette affirmation.

En résumé, la vérification expérimentale du phénomène quantitatif de diffusion de la lumière par le verre martelé est très malaisée sinon impossible. En effet, il serait plus scientifique de procéder en laboratoire, de travailler avec une source intense donnant un faisceau de rayons parallèles orientable à volonté et de dimensions relativement grandes par rapport à celles des « dessins » formant martelage. Dans ce cas, les dimensions indispensables pour la cellule photoélectrique réceptrice laissent rêveur.

Notons simplement la concordance, satisfaisante en première approximation, entre résultats théoriques et observations, ainsi que la preuve indirecte que constituent les chiffres obtenus par la méthode décrite plus loin (voir matériaux diffusants) pour le « Haze » : 90 à 91 % de transmission directe pour le verre martelé et Haze (pouvoir diffuseur) allant de 0 à 82 % de l'intensité transmise, suivant l'endroit où la mesure est effectuée.

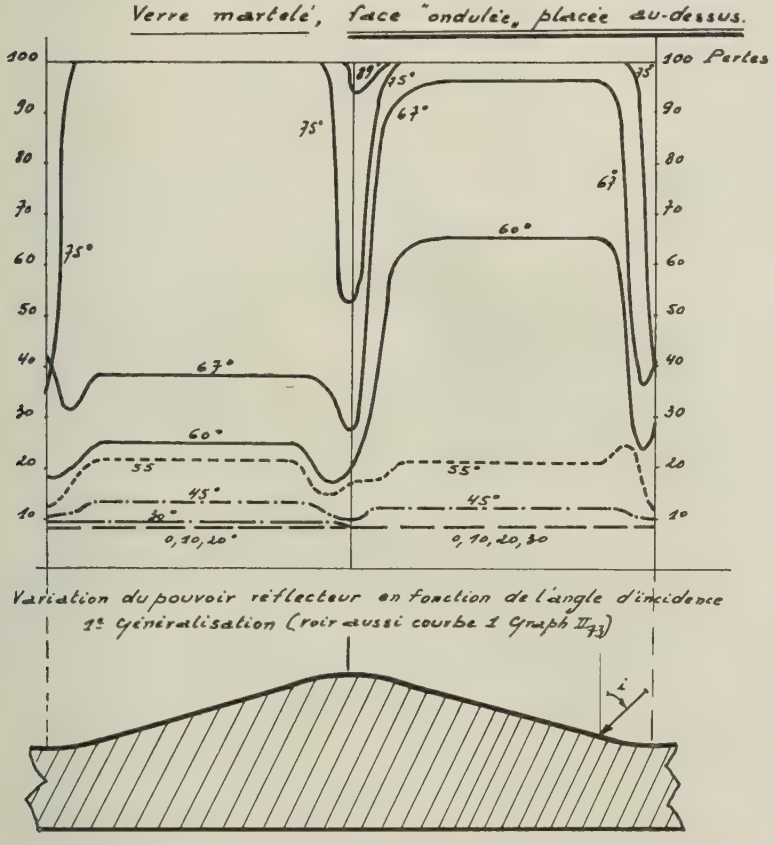
(*) Nous avons, en effet, prié le Comité d'étude et d'exploitation des Calculateurs électroniques, à Bruxelles, (C.E.C.E.) d'effectuer pour nous un certain nombre de calculs concernant l'éclairement des constructions.

3. — 2e CAS. **FACE MARTELÉE DIRIGÉE VERS « LE HAUT ».**

Maintenant que nous avons mis au point une méthode de travail, nous pouvons passer au second cas qui ne présente plus de difficultés et se résume à un nombre élevé de calculs fastidieux avec lesquels nous nous garderons d'ennuyer le lecteur.

Si nous plaçons l'onde vers « le haut », c'est-à-dire vers le rayon lumineux incident, nous voyons que le trajet de la lumière est tout autre.

L'examen des graphiques 7 et 8 montre clairement ce qu'il en est :

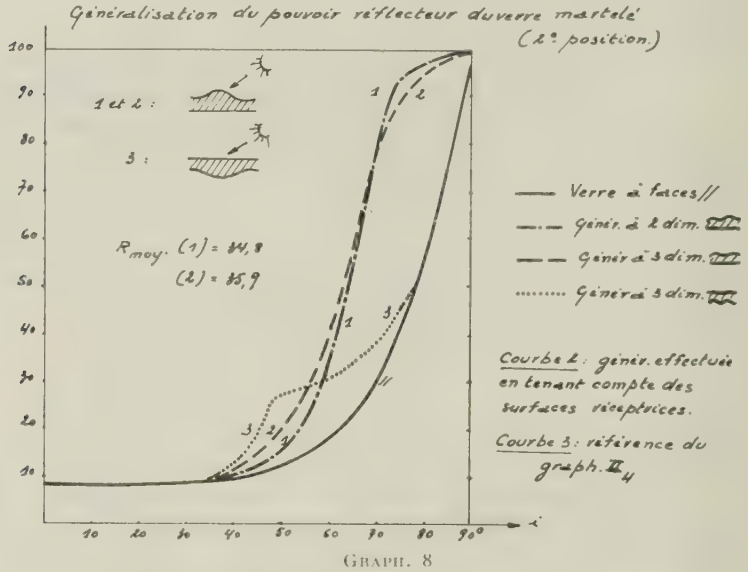


GRAPH. 7

1) Les rayons d'angle d'incidence compris entre 0 et 30° sont déviés d'une façon fort semblable (non pas en tant que « trajet suivi », mais si l'on en-

visage l'importance des pertes par réflexion), que la face martelée soit tournée vers le ciel ou vers la terre.

2) Le sommet de l'onde (partie centrale du graphique) et les portions de surface immédiatement sous-jacentes sont encore favorables aux rayons faisant 40, 45 et même 50° avec la normale au plan du verre, ce qui se traduit (graph. 8) par un avantage du verre martelé face ondulée vers le dessus (courbe 2) vis-à-vis du même, en position inverse (courbe 3, graph. 8).



GRAPH. 8

3) A partir de 50°, l'avantage de la seconde position du verre martelé s'annule et se transforme en désavantage très net. Les courbes (1) et (2) du graphique 8 s'écartent sensiblement de celles du verre à faces parallèles et, partant, de celles du verre martelé, face ondulée vers le bas, puisque cette dernière se rapproche nettement de la première.

4) Dès 60°, l'avantage de la première position du martelé est devenu indiscutable.

Pour des angles (soleil-normale au plan) de plus de 70°, les pertes sont quasi-totales, ce phénomène trouvant son origine pour une grande part dans le fait que l'angle limite d'incidence pour la face opposée à celle tournée vers le faisceau incident est de l'ordre de 75°. Au delà de cet angle, la face gauche (dans le cas du graphique 6) ne reçoit aucune lumière directe...

En conclusion :

a) Les pertes par réflexion du verre martelé posé face ondulée vers le soleil sont celles données par la courbe du graphique 8.

b) Ces pertes sont, à partir de l'angle d'incidence de 55°, nettement supérieures à celles observées pour la position inverse du vitrage.

c) La valeur moyenne du pouvoir réflecteur, pouvant s'assimiler à celle utilisable pour la lumière Diffuse, est de l'ordre de 36% alors que le verre à faces parallèles n'accuse que des pertes de l'ordre de 23,5% environ. 12 à 13% supplémentaires sont donc perdus.

I. — CONCLUSIONS GÉNÉRALES DE NOS TRAVAUX SUR VERRE MARTELÉ

Sans crainte de nous tromper, nous pouvons affirmer que, dans le cas « semi-théorique » que nous avons envisagé, et qui est d'ailleurs la reproduction la plus fidèle possible de la réalité... :

1) La pose du verre martelé doit, sans contredit, s'effectuer, sous nos latitudes, face ondulée tournée vers les végétaux.

2) Dans ce cas, les pertes par réflexion par rapport à celles du verre à faces parallèles sont minimes et la différence entre elles est peu significative lorsque le soleil est haut sur l'horizon. Nous noterons uniquement une diffusion de la lumière dans l'enceinte abritée. (Il ne peut être question d'une « meilleure diffusion », puisque aussi bien on peut admettre que le verre à faces parallèles ne diffuse en rien la lumière incidente). Mais la différence peut atteindre 14% lorsque le soleil ne s'élève que très peu sur l'horizon.

3) Les dimensions relatives du « dessin » (le rapport période de celui-ci à l'épaisseur maximum du vitrage) jouent un rôle déterminant.

Un verre « maté », se rapprochant davantage des cas V et VI définis au début de ce chapitre provoque, selon toute vraisemblance, des pertes par réflexion plus importantes qu'un verre martelé de dessin standard.

4) Les pertes de lumière par réflexion sont toujours réduites lorsque le « dessin » s'assimile davantage à une ligne ondulée qu'à une ligne brisée.

CHAPITRE III

SPECTRES DE TRANSMISSION DES MATÉRIAUX

Suite notamment aux instances de M. Ch. Baron, qui a mis l'accent sur leur importance du point de vue agronomique, diverses firmes belges et étrangères ont effectué maintes mesures dans la portion U.-V. et visible du spectre, dès le moment — ou plutôt quelque temps après — le « lancement » de ces produits sur le marché horticole. Ces données ont d'ailleurs servi de base à propagande de la part de certains producteurs qui s'étaient ainsi aperçus de la grande transparence de leurs produits aux ultra-violets.

Beaucoup plus rares furent les firmes qui explorèrent le domaine I.-R. : elles ne disposaient pas, pour la plupart, des appareils très spéciaux indispensables.

Devant l'importance que revêt la connaissance du comportement des plastiques dans les grandes longueurs d'onde (15 à 35 microns), nous avons réalisé plusieurs séries de mesures sur des matériaux belges et étrangers.

Les premières efffectuées il y a plus de deux ans furent en leur temps communiquées aux Firmes intéressées qui en firent un large usage de diffusion. Ces mesures comprenaient la détermination de la transparence de 0,3 à 15 microns.

A l'heure actuelle, il est devenu courant de « prendre le spectre » des matières plastiques de 0,3 à 15 μ. Seules les conclusions tirées ne nous semblent pas au point ; elles nous ont incité à commencer l'étude approfondie du chapitre : Rôle biologique des diverses radiations lumineuses (voir chap. I du présent travail dans le n° 2 du t. XXVII du même *Bulletin*).

1. — MESURES EFFECTUÉES.

L'étude bibliographique que nous avons effectuée nous a permis de déterminer les régions du spectre qu'il importe de connaître plus particulièrement et, par conséquent, de limiter les longueurs d'onde entre lesquelles nous devions effectuer les mesures de transmission.

Nous avons donc envisagé successivement :

1) *la zone ultra-violette*, ou plutôt la portion de celle-ci dont nous sommes certains que les rayons parviennent à la surface de la terre c'est-à-dire de 300 à 380 millimicrons, l'U.-V. plus court étant absent de notre atmosphère ou même étant considéré comme abiotique.

2) *la partie « visible »* du spectre électromagnétique, c'est-à-dire de 380 à 760 millimicrons.

3) *la portion Infra-Rouge court*, c'est-à-dire de 760 à 2.500 millimicrons, qui rappelons-le, est déterminante du pouvoir d'« auto-échauffement » des enceintes sous les divers matériaux, et ce, sous l'influence des rayons solaires.

4) *la portion I.-R. moyen de 2,5 à 15 microns* dont nous avons mis en évidence le rôle dans le refroidissement nocturne et qui a relativement souvent été explorée par les chercheurs des diverses firmes.

5) enfin, *la portion I.-R. moyen de 15 à 25 microns* qui, à l'heure actuelle, n'a encore jamais été explorée ; **les résultats de nos mesures dans cette zone sont donc entièrement originaux** et de grande importance, comme nous le démonterons plus loin.

Les trois premières séries de mesures concernent la transparence aux rayons solaires incidents et caractérisent donc les conditions dans lesquelles la « serre » se réchauffe et « capte » les rayons solaires, tandis que les deux dernières séries correspondent à la radiation « nocturne », c'est-à-dire celle d'un corps « noir » (l'enceinte envisagée) à la température ambiante (+ 300° K) et nous permettent de caractériser la vitesse de refroidissement par radiation de la-dite enceinte.

2. — APPAREILS UTILISÉS.

a) *Les 3 premières zones envisagées* : U.-V., visible et I.-R. court (300 à 2.000 millimicrons) ont pu être explorées grâce au spectrophotomètre Beckman (modèle 9220) de la station de Zootechnie de l'Institut Agronomique de Gembloux.

Notons que la précision des mesures faites au moyen de cet appareil commence à diminuer aux environs de 1.500 millimicrons et que, vers 2 microns, elle n'atteint plus la même exactitude absolue que dans l'U.-V. et le « visible ».

b) *De 1.500 à 2.800 millimicrons*, les mesures ont été établies sur Beckman enregistreur DK du laboratoire de Radiobiologie du Centre d'Études Nucléaires de Moll. Elles nous ont permis de recouper les précédentes et d'augmenter ainsi l'exactitude de nos résultats.

c) *De 2,5 à 15 microns* (c'est-à-dire de 4000 à ± 665 cm^{-1}), la transparence a été mesurée au « PERKIN ELMER », avec prisme de Na Cl ; ces mesures ont été effectuées grâce à la grande amabilité du Professeur Duyckaerts de l'Université de Liège (Institut de Chimie).

d) *De ± 14,7 à ± 24 microns* (c'est-à-dire ± 680 à ± 420 cm^{-1}), le même Perkin Elmer avec prisme de K Br fut utilisé au service du Professeur D'Or par M. Tarte.

e) Enfin, *de ± 24 à ± 35 microns* (c'est-à-dire de ± 420 à ± 280 cm^{-1}), le prisme de K Br fut remplacé sur le Perkin Elmer par un de Cs Br.

3. — RÉSULTATS OBTENUS.

Notre longue étude bibliographique concernant « le rôle biologique des principales radiations » nous a permis de tirer un certain nombre de conclusions assez générales, et de déterminer, par voie de conséquence, le degré d'exactitude souhaité dans l'établissement des spectres de transparence des divers matériaux. Nous avons mis en évidence qu'il est absolument vain de tout mettre en œuvre pour atteindre à une précision de l'ordre du pourcent. En effet, nous sommes encore, à l'heure actuelle, incapables de déterminer avec précision et certitude le rôle physiologique de chacune des longueurs d'onde, même visibles.

D'autre part, les résultats que nous avons obtenus sont des valeurs *moyennes*, calculées à partir de celles données par divers échantillons des matériaux étudiés. La variation observée au cours de l'établissement de ces moyennes va de 1 à 2 %, parfois 3 % ... Et nous verrons d'ailleurs plus loin la nécessité qu'il y a d'interpréter les valeurs obtenues.

Devons-nous, par conséquent, rechercher une exactitude rigoureuse dans ces mesures de transmission lumineuse? Nous ne le croyons pas.

Deux matériaux qui ne diffèrent dans leur spectre que de quelques pourcents ne seront pas à même de se distinguer « dans la pratique », à moins que cette différence ne soit rapidement élargie par une altération différentielle des matériaux ou par l'absorption, à leur surface, de poussières et autres particules absorbantes.

Nous rechercherons donc davantage des valeurs moyennes pour les diverses régions du spectre établies ci-dessus, nous réservant le soin de leur attribuer une sorte de coefficient « d'adaptation » en fonction de l'importance relative qu'elles pourraient avoir.

Note Importante.

Nous passerons sous silence tous les résultats que nous avons obtenus de 0,3 à 15 microns : des mesures analogues peuvent se trouver dans la littérature et nous nous ferions éventuellement un plaisir de communiquer quelques valeurs particulières au lecteur qui en émettrait le désir.

Nous nous bornerons à signaler l'allure générale du spectre du polyethylène noir, étant donné l'importance que celui-ci ne cesse de prendre en Agriculture. D'une opacité totale jusqu'à 2,5 microns environ, ce matériau voit sa transparance croître avec la longueur d'onde d'une façon presque continue et régulière. Seules trois bandes étroites d'absorption totale sont visibles à 3,3 ainsi qu'à 5,6 et à 11 microns environ. La transmission du polyéthylène noir (0,05 mm d'épaisseur) atteint enfin $\pm$ 60 % à 15 microns.

Nous allons donc nous limiter à la *présentation des résulats des mesures* qui, à notre connaissance, *n'ont encore jamais été publiés*, c.-à-d. de celles *de 15 à 35 microns*. Il est intéressant, en effet, d'explorer cette zone du spectre car pour un corps noir à 300° K, la fraction 2,5 à 15 microns ne représente que 64 % (et pour un corps à 275° K, que 56 %) de l'énergie totale rayonnée.

L'émission de ce corps noir se poursuit, en effet, jusque 60 μ et, jusqu'à 35-40 μ au moins, les valeurs de l'énergie rayonnée sont trop importantes pour être négligées.

Étude de la zone de l'I.-R. moyen de 15 a 35 microns.

La lecture des enregistrements obtenus au moyen du Perkin Elmer (prismes K Br et Cs Br) est assez pénible car toute ordonnée doit être rapportée à celle de la courbe représentant une transmission parfaite (100 %). La présence d'eau atmosphérique occasionne des bandes d'absorption nombreuses et parfois très intenses qui font varier la valeur absolue des mesures effectuées d'une façon non négligeable.

Nous avons reporté (fig. 18 et 19) les valeurs de la transmission globale d'un certain nombre de matériaux entre 15 et 37 microns.

Ici encore, les valeurs sont estimées à ± 2-3%, et représentent la moyenne arithmétique de celles obtenues pour plusieurs échantillons.

Voici, par ordre de transparence décroissante, les divers matériaux étudiés avec leur épaisseur correspondante. Leur transparence moyenne globale de 640 à 270 cm^{-1} (env. 15 à 36 μ) est exprimée en %.

Matériau	Épaiss.	Transp. %	Matériau	Épaiss.	Transp. %
Polyéthylène	0,05 mm	93,5	P.V.C.	0,1 mm	44,5
»	0,5	91—	Polystyrène	0,25	30—
Polyamide (R)	0,04	68,8	P.V.C.	0,4	10,5
Polyéthylène noir	0,05	67,5	Polyamide (F)	0,25	6—
Polyester film Melinex	100 g.	61,9	P.V.C.	1-4 mm	0—
Polyéthylène	4 mm	46—	Résine polyester		0—
Polyester film Melinex	200 g.	44,8	Verre	1 à 3 mm	0—

Au point de vue résistance au passage de ces I.-R., on remarque que verre et résine polyester se classent en tête, puis le polyamide de 0,25 mm et le P. V. C. (0,4 mm), le polystyrène 0,25 et le P. V. C. (0,1 mm) et seulement alors les polyéthylènes, dont le spectre, pour les épaisseurs utilisables en construction horticole, reste voisin des valeurs 100 (jusque 23 microns) puis 85 % (jusque 37 microns).

Nous insistons sur le fait que la comparaison des transparences absolues

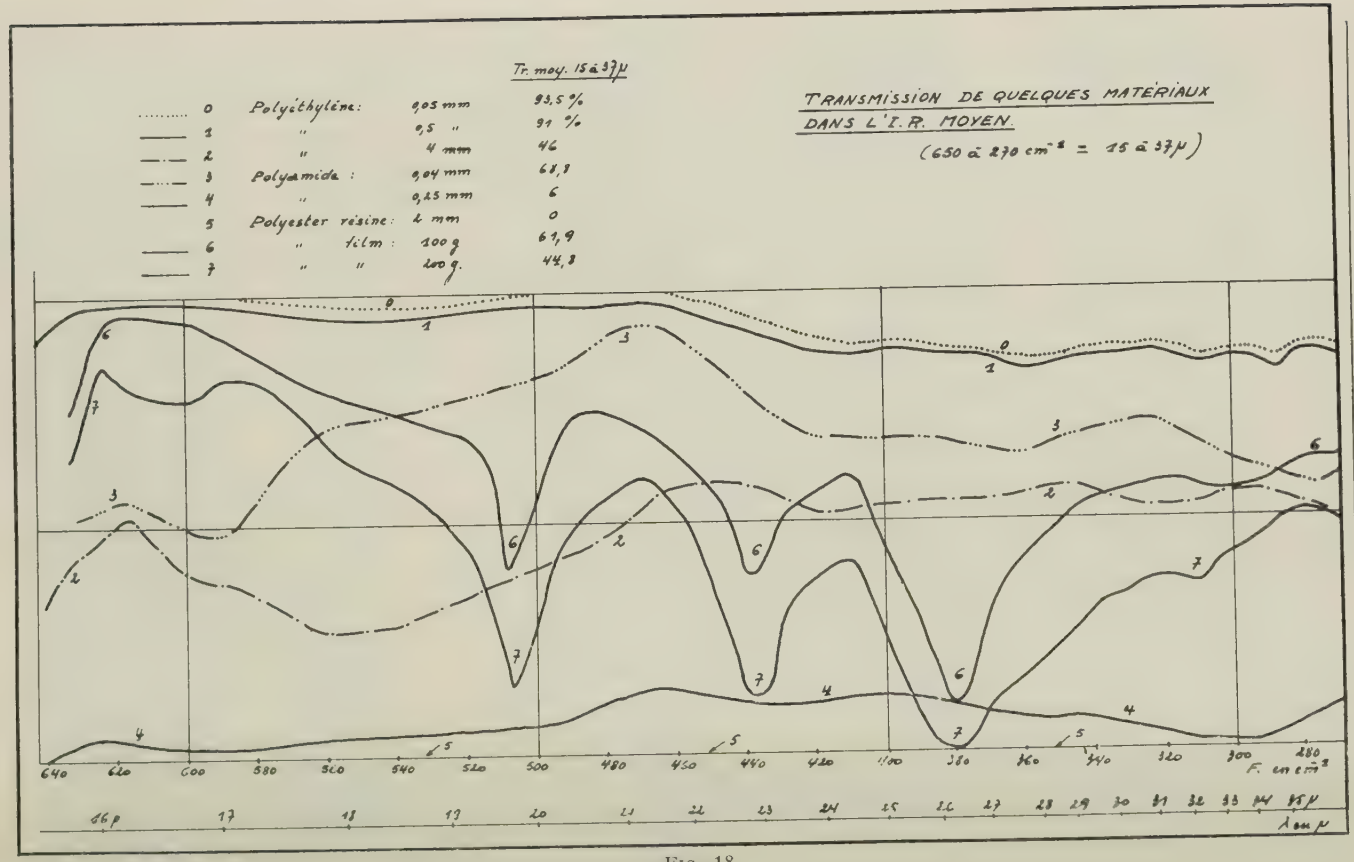

TRANSMISSION DE QUELQUES MATÉRIAUX
DANS L'I.R. MOYEN.
(650 à 270 cm⁻¹ = 15 à 37 μ)
Tr. moy. 15 à 37 μ
0 Polyéthylène: 0,05 mm 93,5 %
1 " 0,5 " 91 %
2 " 4 mm 46
3 Polyamide: 0,04 mm 68,1
4 " 0,25 mm 6
5 Polyester résine: 4 mm 0
6 " film: 100 g 61,9
7 " " 200 g. 44,1
F. en cm⁻¹
λ en μ

FIG. 18

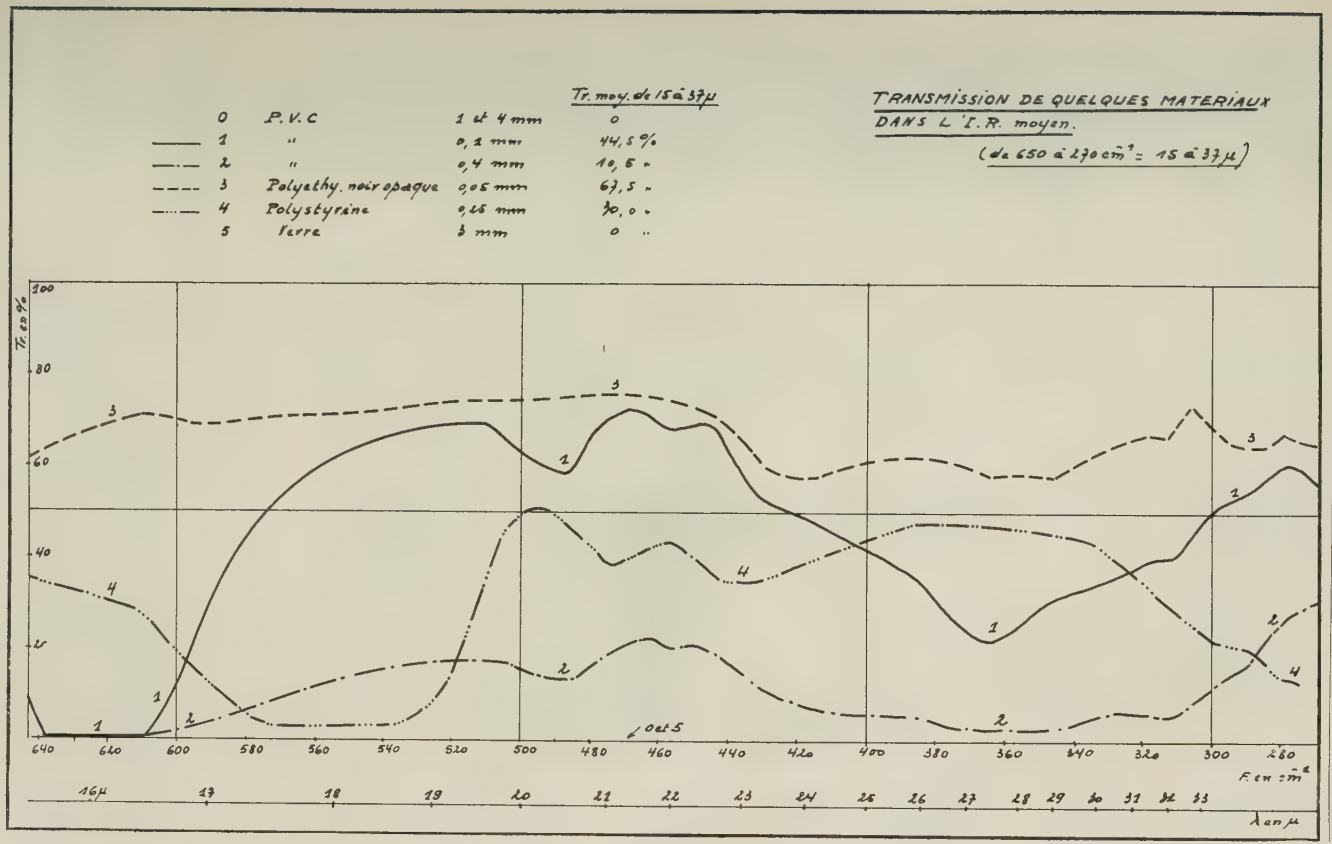

TRANSMISSION DE QUELQUES MATERIAUX
DANS L'I.R. moyen.
(de 650 à 270 cm⁻¹ = 15 à 37 μ)
Tr. moy. de 15 à 37 μ
0 P.V.C 1 et 4 mm 0
1 " 0,1 mm 44,5 %
2 " 0,4 mm 10,5 "
3 Polyethy. noir opaque 0,05 mm 67,5 "
4 Polystyrène 0,25 mm 70,0 "
5 Verre 3 mm 0 "
Tr. en %
100
80
60
40
20
0
640 620 600 580 560 540 520 500 480 460 440 420 400 380 360 340 320 300 280
F en cm⁻¹
16μ 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33
λ en μ

FIG. 19

des divers matériaux dans cette portion du spectre est nettement moins intéressante que celle effectuée d'une manière *relative* en tenant compte de l'intensité relative des radiations de différentes longueurs d'ondes émises par un corps noir à température ordinaire.

4. — COMPARAISON DES MATÉRIAUX ENTRE EUX

COMPARAISON EFFECTUÉE DANS LA RÉGION DES LONGUEURS D'ONDE CORRESPONDANT À CELLES DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Nous envisagerons par conséquent la région des rayons solaires atteignant effectivement la surface du sol c'est-à-dire de 0,3 à 2 microns, en négligeant sciemment la fraction 2-2,5 microns car elle correspond à une zone d'intense absorption par tous les matériaux organiques possédant des radicaux -C.H.

Il est intéressant de comparer les nouveaux produits cherchant à s'introduire en Horticulture à celui qui, de tout temps, fut utilisé avec succès en tant que couverture des végétaux : le VERRE.

Pour ce faire, nous avons porté à 100% la transmission U.-V., visible et I.-R. court du verre 3 mm (épaisseur sous laquelle il est le plus couramment utilisé) et avons relu chacune des courbes obtenues pour les matières plastiques par rapport à celle du verre. Les résultats sont consignés d'une façon très parlante dans les figures 20 à 23.

Si, dans bien des cas, les différences entre matériaux ne sont pas très nettes, il importe cependant de ne pas oublier les conclusions auxquelles nous sommes arrivé au sujet du pourcentage d'absorption « admissible » lorsque l'on désire utiliser un « plastique » pour constituer des abris pour culture printanière. Quelques % d'absorption sont susceptibles dans certaines conditions de provoquer une diminution de croissance non négligeable même si elle n'est guère apparente à première vue... Dans d'autres conditions, une absorption plus importante peut par contre passer totalement « inaperçue ».

Examinons successivement les 3 zones du spectre qui nous intéressent davantage :

1) Ultra-Violet (0,300 à 0,380 micron)

L'analyse des figures reprises plus loin fait nettement apparaître la très forte transparence de toutes les matières plastiques (polyester excepté) aux rayons U.-V. proches.

Si nous comparons les valeurs de transmission du verre (portées à 100) à celles de ces substances nouvelles, nous voyons avec étonnement que, compte-tenu des variations d'épaisseur des matériaux analysés, le polystyrène vient en tête en présentant une transmission à l'U.-V. (de 300 microns),

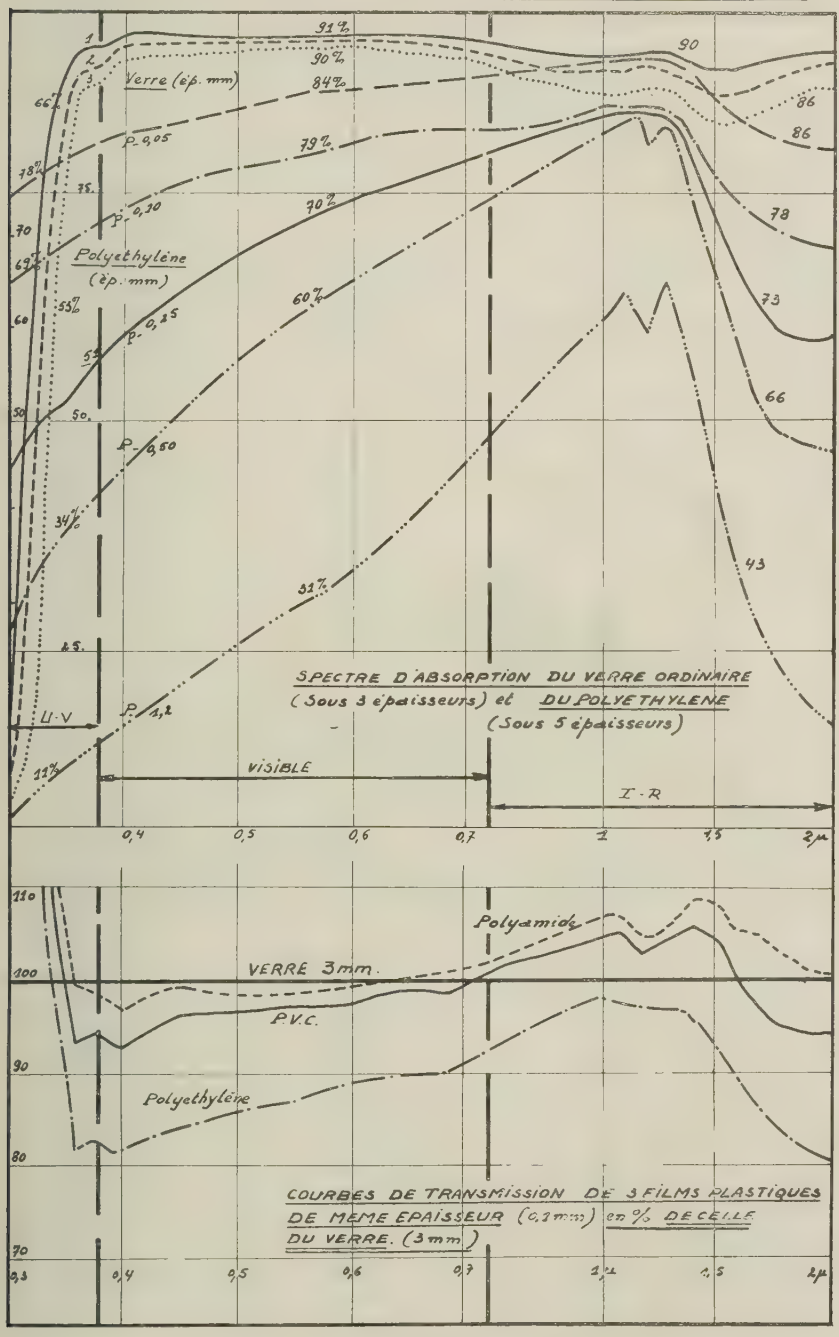

Verre (ép. mm)
Polyethylène (ép. mm)
P 0,05
P 0,10
P 0,25
P 0,50
P 1,2
U.V
VISIBLE
I.R
SPECTRE D'ABSORPTION DU VERRE ORDINAIRE (Sous 3 épaisseurs) et DU POLYETHYLENE (Sous 5 épaisseurs)
0,4
0,5
0,6
0,7
1
1,5
2μ
Polyamide
VERRE 3mm.
P.V.C.
Polyethylène
COURBES DE TRANSMISSION DE 3 FILMS PLASTIQUES DE MEME EPAISSEUR (0,1mm) en % DE CELLE DU VERRE. (3mm)

FIG. 20 et 21

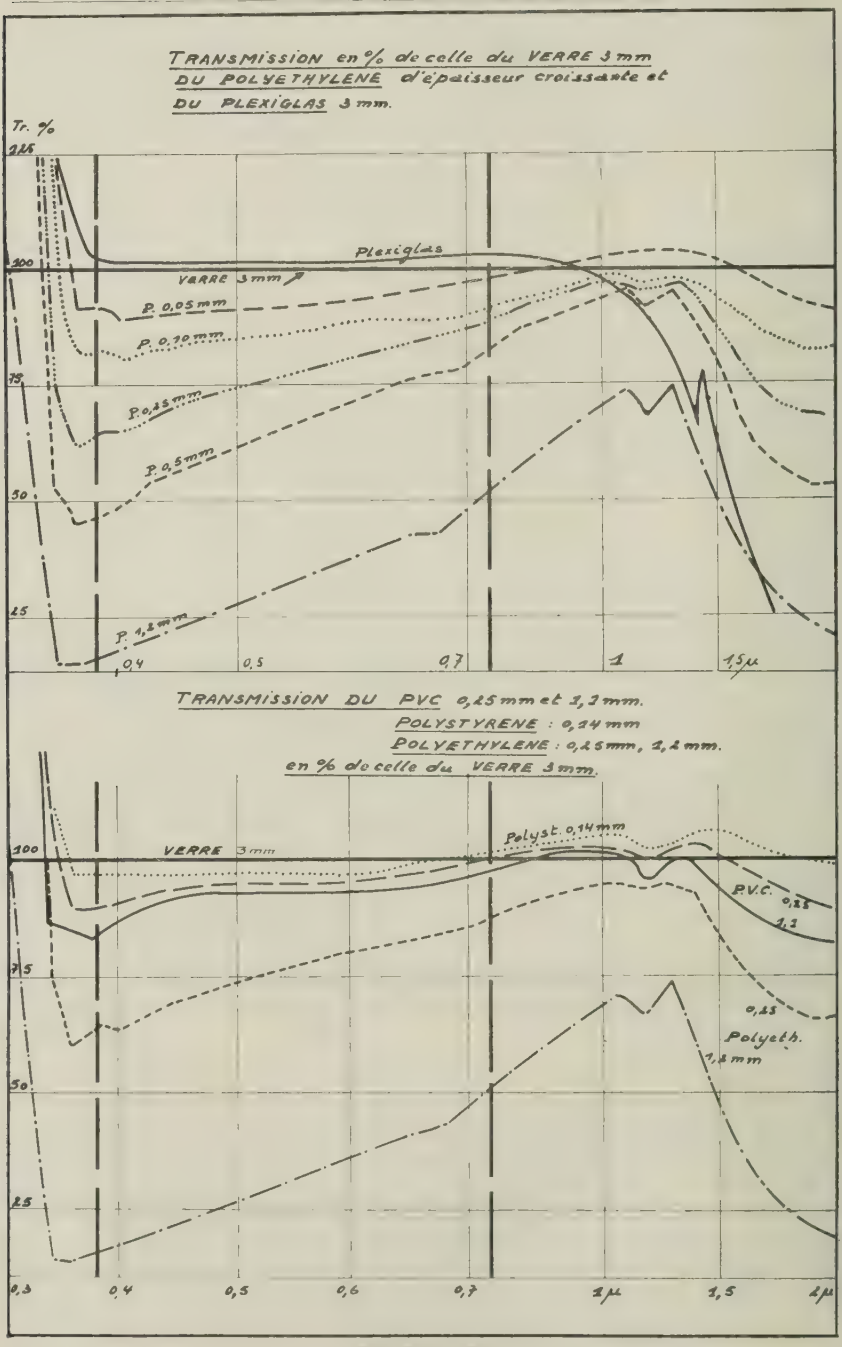

TRANSMISSION en % de celle du VERRE 3 mm
DU POLYETHYLENE d'épaisseur croissante et
DU PLEXIGLAS 3 mm.
Tr. %
Plexiglas
VERRE 3 mm
P. 0,05 mm
P. 0,10 mm
P. 0,25 mm
P. 0,5 mm
P. 1,2 mm
0,4
0,5
0,7
1
1,5μ
TRANSMISSION DU PVC 0,25 mm et 1,2 mm.
POLYSTYRENE : 0,14 mm
POLYETHYLENE : 0,25 mm, 1,2 mm.
en % de celle du VERRE 3 mm.
VERRE 3 mm
Polyst. 0,14 mm
P.V.C. 0,25
1,2
0,25
Polyeth.
1,2 mm
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
1μ
1,5
2μ

FIG. 22 et 23

pour 0,14 mm d'épaisseur de l'ordre de 1220 % du verre, que le polyamide le suit de peu avec 1280 sous 0,1% mm. d'épaisseur et que le polyéthylène (0,05 mm) atteint le chiffre de 1225 % tandis que le P. V. C. (0,09 mm) suit avec un chiffre respectable encore de 840 % du verre.

Fait tout aussi remarquable, ces valeurs extraordinaires à 300 microns, tombent toutes, à la limite U.-V. — visible, au-dessous de celles du verre et valent respectivement pour les matériaux cités ci-dessus : 99 %, 99 % (différences non significatives), 92 % et 94 %. (Voir plus loin explication basée sur le phénomène de *diffusion*).

Plus l'épaisseur des matières plastiques augmente (tout en restant cependant nettement inférieure à celle du verre) plus l'avantage de ce dernier s'intensifie. La différence qui pourrait présenter le plus d'importance est peut-être celle qui se marque entre verre et polyester dans la partie U.-V. du spectre. En effet, si le verre laisse « passer » 53 % de l'U.-V. compris entre 0,300 et 0,380 μ, les résines «polyester» par contre, n'atteignent même pas les 10 % (respectivement 0,7 et 3 % sous épaisseur de 0,50 -0,8 et 2,65 mm). Les stratifiés peuvent, eux, être considérés comme totalement « opaques » aux U.-V. (tenons cependant compte, ici encore, de l'influence du phénomène de diffusion qui atteint surtout les faibles longueurs d'onde...).

2) **Visible (0,38 à 0,76 microns).**

Ici apparaît, beaucoup plus nettement que dans les figures générales de transmission, la similitude existant entre le verre (3 mm) et le polystyrène, P. V. C. et polyamide sous épaisseur correspondante (du point de vue utilisation en horticulture). Même le polyéthylène, malgré sa translucidité et son aspect « laiteux », peut se comparer sous épaisseur de 0,03 mm au verre 3 mm, de la même façon que le polystyrène 0,14 mm, le P. V. C. 0,25 et 1,1 mm et polyamide (0,1 mm). Un fait saillant : le P. V. C. est la seule matière plastique dont la transparence à épaisseur plus ou moins égale à celle du verre soit du même ordre de grandeur que celle de ce matériau, alors que les autres matières plastiques doivent être présentées sous forme de film de plus ou moins 0,1 mm et même moins. Seul, le P. V. C., en feuilles de 1 mm, présente encore une transmission lumineuse très satisfaisante.

On peut également voir que, dans l'ensemble du visible, les différences de transmission entre *résines* polyesters et verre, sous épaisseurs plus ou moins correspondantes, sont à peine significatives : la transmission moyenne du verre (pour le visible) valant approximativement 90 %, celle des résines d'épaisseur plus ou moins 1 mm. s'élève à 85 %, alors qu'elle est d'environ 78 % pour une épaisseur de presque 3 mm. Ceci est naturellement fonction de la nature-même de la résine, mais les mesures que nous avons effectuées jusqu'ici dans cette zone « visible » montrent que les différences d'une résine à une autre sont bien peu importantes.

Si nous comparons le spectre des résines polyesters à celui du verre, pour les épaisseurs sous lesquelles ces matières sont généralement utilisées, (respectivement plus ou moins 1 et 3 mm) on peut, en horticulture, dire que, grosso-modo, leur transparence est du même ordre et l'allure générale des courbes, identique. Les différences commencent à être plus sensibles lorsque ces résines sont stratifiées de laine de verre. Le facteur « fabrication » revêt alors une importance capitale. Nous étudierons ce phénomène dans un prochain chapitre.

3) Infra-Rouge (760 à 2000 millimicrons).

En ce qui concerne cette partie du spectre, l'allure générale est la même pour tous les plastiques, avec le décalage logique vers les faibles transmissions lorsque l'épaisseur augmente.

Comparées au verre, ces diverses matières présentent un relèvement net de la courbe de transparence qui, amorcé dans le visible, s'intensifie pour présenter un maximum entre 1 et 1,5 μ. Après quoi, le verre reprend l'avantage, mais rappelons qu'il le perdra bientôt aux environs de 2,5-3 μ (pour autant que l'on puisse parler d'avantage dans ce cas...).

Notons simplement la présence constante d'un maximum de transparence entre 1000 et 1500 mμ, maximum dont la valeur dépasse celle du verre ; ce fait se traduit en pratique par un échauffement plus rapide des enceintes limitées par ces matériaux que de celles recouvertes de verre (ou de polyester), mais est réputé comme provoquant un allongement anormal des végétaux, ainsi que nous l'avons déjà dit à maintes reprises ; de plus, rappelons-le, l'I.-R. de 720 à 1400 mμ est relativement moins absorbé par les feuilles : il les échauffe donc proportionnellement moins que l'I.-R. de plus grande longueur d'onde.

Enfin, dans l'I.-R. court, les résines polyesters ne s'éloignent pas du verre d'une manière excessive : nous pouvons citer les valeurs de 73-69 % contre 86 pour le verre 3 mm ; le retard des résines est à attribuer à l'absorption plus forte de celles-ci entre 1,5 et 2 μ, ce retard n'étant d'ailleurs pas un inconvénient si l'on admet que l'I.-R. court (720 à 1000 mμ) soit responsable d'un allongement anormal des plantes comme dit plus haut.

Eu égard à cet état de choses, nous pouvons prévoir que les polyesters vont se comporter, grosso-modo, comme le verre, mais que l'enceinte qu'ils délimitent s'échauffera dans une moins grande mesure pendant une journée ensoleillée.

5. — VALEUR RÉELLE DES MATÉRIAUX

RAPPORT DE LEUR SPECTRE DE TRANSMISSION A CEUX, D'ÉMISSION, DU SOLEIL ET DU CORPS NOIR A T° AMBIANTE.

1) Zone d'émission solaire.

Cette étude de la transparence des matériaux envisagés nous paraîtrait incomplète si nous n'essayions de déterminer l'incidence qu'a la transparence spécifique de chacun des matériaux sur la quantité de lumière transmise dans une enceinte, en fonction de la radiation incidente.

Nous attribuons, en fait, à chaque valeur de transparence, un coefficient de pondération qui tient compte de l'intensité du rayonnement solaire pour cette longueur d'onde.

De façon à être à même d'effectuer ce calcul, nous avons (fig. 8) calculé, d'après des données d'auteurs différents, un certain nombre de courbes représentant la *répartition spectrale du rayonnement solaire direct et du ciel au niveau du sol,* pour des conditions optima de transparence de l'atmosphère.

Nous extrayons de cette fig. la courbe n° 1, relative à l'intensité de la radiation du ciel à laquelle s'ajoute celle du soleil, lorsque celui-ci atteint une hauteur au-dessus de l'horizon de 65°, et lorsque l'atmosphère est absolument transparente.

Le tableau III, page suivante, exprime les résultats globaux donnés, en détail, à la fig 24, deux pages plus loin.

Si l'on s'en réfère aux chiffres représentant les valeurs moyennes de transparence des matériaux pour les 3 régions du spectre solaire, on remarque que, pour certains matériaux du moins, *des différences importantes apparaissent* par rapport aux chiffres ci-dessus calculés.

CONCLUSION

Les valeurs moyennes de transparence (par rapport à celle de l'air) des matériaux, valeurs moyennes calculées pour les diverses régions conventionnelles du spectre, ne donnent qu'une idée très approximative et souvent fausse du phénomène réel. Nous ne pouvons nous limiter à mesurer les valeurs de transmission par rapport à l'air au moyen des divers spectrophotomètres ; mais il est indispensable de rapporter ces valeurs relatives à celles de l'intensité du rayonnement solaire pour chaque longueur d'onde, de les affecter, en d'autres termes, de coefficients proportionnels à l'émission solaire à la longueur d'onde considérée.

Dans ces conditions, et alors seulement, les mesures de transparence signifieront quelque chose.

TABLEAU III : **Radiation globale, en W. m^{-2}, pour $\Delta \lambda = 333$ Å**

Nature du Rayonnement	Soleil + Ciel	« Plexiglas » 3 mm	Verre 3 mm	Polyamide 0,1 mm	Polyéthylène 0,1 mm	Polystyrène 0,14 mm	P.V.C. 0,25 mm	Polyester stratifié 1 mm
U-V (0,3 à 0,38 μ)	17,4	11,8	9,2	14,3	11,8	14,5	12,6	2,67
%	100	68	53	82	68	83	72,5	15
Visible	147,4	134,9	132,4	133,7	116,	132,9	129,5	111,5
%	100	92	90	91	80	90	88	76
I-R (0,76 à 2 μ)	133,5	106,3	166,6	124,2	110,5	122,4	120,3	106,2
%	100	80	88	93	83	92	90	80
Total de 0,3 à 2 μ	298,3	253	258	272,2	238,8	269,8	262,4	220,4
%	100	84,5	86,5	91,3	80	90,5	88	74

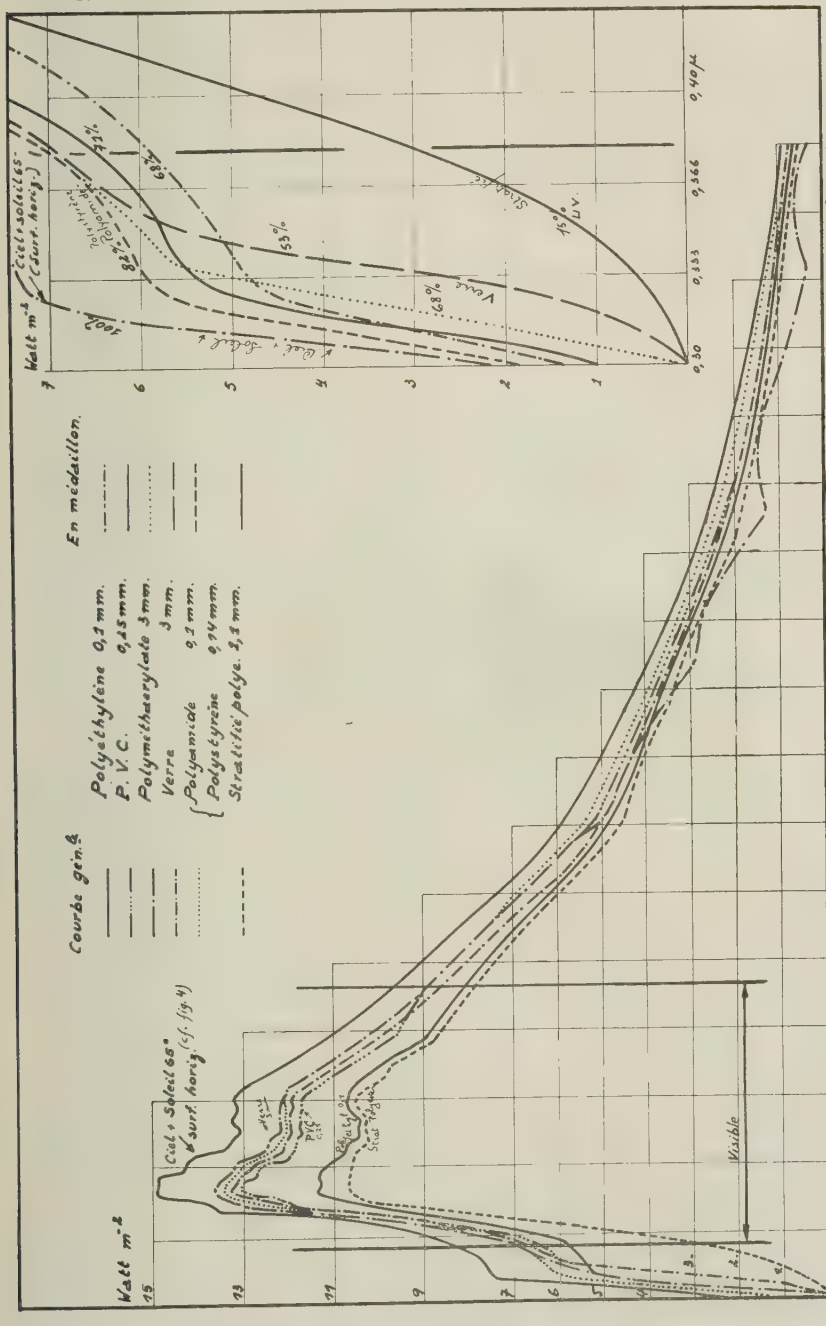


Fig. 24 — Transmission (de divers matériaux) rapportée au spectre d'émission solaire.

Prenons le cas du polyméthracrylate de méthyle (Plexiglas). Le spectre d'absorption conduit à des valeurs moyennes de 52, 92 et 65 %, respectivement pour l'U.-V, le visible et l'I.-R. (0,76 à 2 μ). Le calcul exact par rapport à l'émission solaire en ces 3 régions donne (soleil 65° + ciel, surface horizontale) les 3 pourcentages suivants : 68 (contre 52), 92 (= 92) et 80 (contre 65). Ce qui s'explique aisément par le fait que ce sont justement les radiations les moins représentées dans le spectre solaire qui sont le plus absorbées par ce matériau. L'importance relative de l'opacité à certaines longueurs d'onde diminue donc nettement, tandis que celle d'autres λ croît en proportion.

Pour des matériaux très transparents à toutes les radiations comme les P. V. C., polyamide, polystyrène et même polyéthylène, les différences calculées sont plus réduites quoique souvent non négligeables.

Ceci tend à démontrer pourquoi des matériaux, apparemment moins « bons » du point de vue transmission de la lumière, n'accusent pas, au cours d'essais de culture, des différences proportionnelles à (ou tout au moins de l'ordre de) celles qui seraient attendues au vu de leur spectre d'absorption.

Nous croyons inutile de refaire le même travail pour des rayonnements solaires correspondant à d'autres hauteurs de l'astre au-dessus de l'horizon. Nous obtiendrions des valeurs équivalentes.

La hauteur du soleil choisie est, répétons-le, celle qu'il atteint à midi à l'époque d'intensité solaire maximum (65° au-dessus de l'horizon).

En résumé : puisqu'il nous est pratiquement impossible de déterminer la répartition spectrale idéale pour les végétaux, tant qualitativement que quantitativement, nous devons nous borner à supposer que le spectre solaire satisfait le mieux, à tout point de vue, aux exigences des plantes, bien que son maximum d'émission ne soit pas « dans le rouge » et que les rayons de cette couleur se soient avérés, au cours de certains essais, comme étant les plus actifs au point de vue physiologique et morphologique.

Dans ces conditions, le matériau le plus transparent à l'ensemble du spectre 0,3 à 2 μ peut être considéré comme donnant le plus de chances de réussite des cultures, si l'on envisage le seul problème « transparence aux rayons incidents ».

Une autre étape de la détermination de la valeur des matériaux envisagera le « pouvoir de rétention » de la chaleur acquise, une troisième devra se soucier de peser le pour et le contre de leur comportement en ce qui concerne l'humidité, de leurs propriétés mécaniques etc...

La comparaison de la valeur des divers matériaux du point de vue transparence aux rayons incidents et conséquemment de leur intérêt probable pour l'horticulture doit s'effectuer comme démontré ci-dessus, c'est-à-dire proportionnellement à la « quantité » de rayons solaires de longueur d'onde déterminée. Les conclusions tirées sont susceptibles de différer nettement

de celles auxquelles on aboutit par simple étude de leur transparence globale déterminée par rapport à celle de l'air.

La fig. 24 donne, en médaillon, l'allure de la transmission différentielle des divers matériaux dans l'U.-V. L'échelle du graphique général ne permettait, en effet, pas d'obtenir une précision suffisante.

Notons enfin que, dans cette fig. 24, les courbes correspondant au polyamide 0,1 mm et au polystyrène 0,14 mm se confondent pratiquement tant sont minimes les variations observées entre les deux (celles-ci sont de l'ordre du %, d'après le tableau précédent).

2. Zone d'émission du corps noir à 300° K.

Nous venons de démontrer que les valeurs de transmission lumineuse des matériaux, dans les zones U.-V., visible et I.-R. court, zone de ± 0,3 à ± 2,5 microns, devaient être non pas entendues dans leur sens absolu, mais interprétées, c'est-à-dire rapportées aux diverses intensités relatives du spectre solaire pour les longueurs d'onde envisagées. En un mot, qu'il était intéressant de lire les spectres de transmission des matériaux par rapport au spectre d'émission du soleil. Cela nous permettait d'obtenir des valeurs susceptibles de représenter *réellement* le phénomène.

Il est logique, en conséquence, d'effectuer une opération similaire pour apprécier à leur juste valeur les données de transparence des matériaux au *rayonnement d'un corps noir* c'est-à-dire, en fait, leur opacité au rayonnement nocturne.

Partons de la distribution spectrale de l'énergie rayonnée par un corps noir à 300° K ; pour $\Delta\lambda$ = 1/2 micron, l'énergie totale rayonnée atteint la valeur de 659. 10^{-3} cal. cm^{-2} min^{-1} pour une zone de 2,5 à 70 microns. Les déterminations de transparence aux I.-R. que nous avons pu effectuer ne dépassant pas 36 microns, nous limiterons ce spectre à la zone 2,5 — 35 microns. Entre ces limites, l'énergie rayonnée à 300° K par un corps noir vaut encore environ 600. 10^{-3} cal. cm^{-2} min^{-1} c'est-à-dire ± 92% de l'émission totale; l'allure générale du spectre du corps noir est donnée fig. 25.

Multiplions chaque ordonnée de cette courbe par la valeur de la transmission des matériaux à la λ correspondante, et nous obtiendrons les diverses courbes reprises à cette figure 25. Nous n'avons pas représenté les bandes d'absorption très intenses et étroites que divers matériaux présentent à certaines λ (par exemple le polyéthylène à ± 7 et ± 13 microns) ; mais nous avons tenu compte de ces particularités dans nos calculs ; la représentation de ces brusques minima eût entièrement bouleversé l'allure générale des courbes, allure que, seule, nous avons essayé d'indiquer.

L'examen de la fig. 25 fait apparaître directement les différences majeures existant entre matériaux : P. V. C. 1 mm, verre et polyester présentent une transmission nulle au rayonnement du corps noir, tandis que

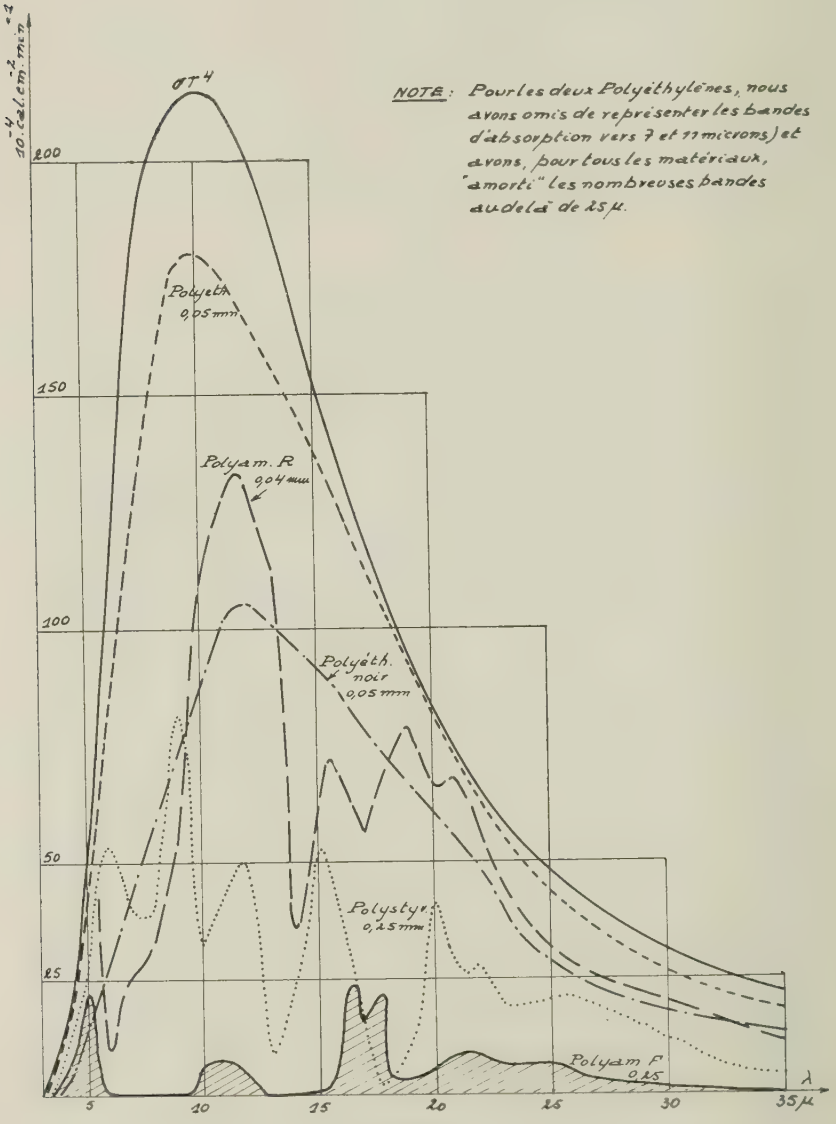


FIG. 25

Note : Une figure de ce genre, représentant d'autres matériaux, est donnée dans un article que nous publions dans le n° III des *Annales de Gembloux* de cette année.

le polyéthylène sous quelqu'épaisseur que ce soit atteint et dépasse les 50 % de transmission.

Le tableau ci-après résume les données de la fig. précitée ainsi que de nombreux calculs dont les résultats ne sont pas présentés sous forme de figure.

Rayonnement du corps noir et fraction de celle-ci traversant les divers matériaux
de 3 à 35 microns (en 10^{-4} cal. cm^{-2} min^{-1} pour $\Delta\lambda = 1/2\ \mu$)

Matériaux (Épaiss. en mm)	I Total	I Moy.	I %	Matériaux (Épaiss. en mm)	II Total	II Moy.	II %
Corps noir 300° K.	6.004	91	100 %				
Polyéthylène 0,05 mm	4.612	70	77	P.V.C. 0,1 mm	1.766	28,9	31,7
id. 0,5 mm	3.392	51,4	56,5	Polystyrène 0,25 mm	1.595	24,2	26,6
Polyamide 0,04 mm	3.004	45,5	50	Polyamide 0,25 mm	272	4,1	4,5
Polyester film 100 g.	2.760	41,7	45,8	Polyester Résine 0,5 mm	17	0,26	0,28
Polyéthylène noir 0,05 mm	2.708	41	45	P.V.C. 1,1 mm	16	0,24	0,26
				Verre 3 mm	4	0,1	0

La colonne « Total » donne donc, en 10^{-4} cal. cm^{-2} min^{-1}, la quantité de l'énergie du corps noir qui traverse directement les matériaux.

La seconde colonne « Moyenne » est le quotient de la valeur globale de l'énergie rayonnée ou transmise, par le nombre de $\Delta\lambda$ compris entre les limites choisies.

La 3e colonne (%) est la même valeur moyenne rapportée à celle du corps noir, cette dernière étant portée à 100.

Comparaison entre les pourcentages de transmission obtenus par les deux méthodes
c'est-à-dire entre valeurs absolues et valeurs rapportées à l'émission du corps noir.

Dans le tableau ci-dessous, nous reprenons les valeurs de transmission calculées à partir des divers graphiques et figures pour l'ensemble du spectre du corps noir (2,5 à 35 microns) et les comparons à ce qu'elles sont devenues après application du « coefficient de pondération » exposé ci-dessus c'est-à-dire après lecture par rapport au spectre du corps noir.

Nous voyons que les différences entre méthodes sont assez importantes : le plus souvent, elles sont de l'ordre de 10 %, mais peuvent atteindre 16,1 %.

Matériau	I Méthode « ordin. »	II Rapp. à E. du c. noir	Matériau	I Méthode « ordin. »	II Rapp. à E. du c. noir
Polyéthylène 0,05 mm	88,5	77	Polyamide 0,04 mm	59,8	50
» 0,05 noir	55,5	45	» 0,25 mm	6,4	4,5
» 0,5 mm	72,4	56,5	Polyester film 100 g.	56,2	45,8
P.V.C. 0,1 mm	39,6	31,7	» résine 0,5 mm	0,5	0,3
» 1,1 mm	1,6	0,26	Verre 3 mm	0,1	0
Polystrène 0,25 mm	28,7	26,6	Polyméthacrylate 3 mm	—	—

Nous remarquons immédiatement que les différences de transmission sont toujours dans le sens d'une diminution de cette dernière lorsqu'elle est rapportée au spectre du corps noir.

Conclusions

Bien plus encore que lorsque nous avons rapporté la courbe d'absorption des matériaux à celle du spectre solaire, nous voyons que nous ne pouvons nous contenter des valeurs lues au spectrophotomètre, par rapport à la transparence de l'air. Nous devons, au contraire, faire entrer ces résultats dans la courbe d'émission du corps noir avant de juger.

6. — ÉVALUATION THÉORIQUE DES TEMPÉRATURES SOUS LES DIVERS MATÉRIAUX.

Éliminons tous facteurs autres que rayonnement pur. Passons donc sous silence les gains de chaleur réalisés grâce à la diminution des mouvements de l'air (convection...) et à la suppression du vent.

A. Vitrage. Supposons une feuille de verre recevant *normalement* les rayons solaires et fermant un espace dont le fond est considéré comme *noir* et de conductibilité thermique faible (ce qui nous permet d'éliminer les phénomènes de conduction). Passons sous silence également les phénomènes de convection.

Soient I : l'intensité du rayonnement solaire reçu ;
T_a : la T° absolue de l'air ambiant (extérieur) ;
T_s : celle du sol dans l'enceinte et
T_v : celle du verre.

Le sol émet σT_s^4 et reçoit, par unité de surface, le flux I ainsi que le rayonnement émis par le verre σT_v^4 (nous avons vu que le verre était un corps noir pour ces longueurs d'onde). Le sol ne reçoit rien du milieu ambiant, extérieur donc, car ces radiations sont absorbées par le verre.

Ecrivons l'équation d'équilibre du *sol* :

$$\sigma T_s^4 = I + \sigma T_v^4 . \qquad (1)$$

Le verre, tout comme les matériaux possédant «l'effet de serre », émet par ses deux faces σT_v^4 ; il reçoit I, mais le transmet ; reçoit le rayonnement du milieu ambiant et l'absorbe (σT_a^4) et reçoit la radiation émise par le sol (σT_s^4).

L'équation d'équilibre s'écrit, pour le *verre* :

$$2\sigma T_v^4 = \sigma T_a^4 + \sigma T_s^4 . \qquad (2)$$

Ces 2 équations nous permettent de tirer T_v et T_s :

$$\left.\begin{array}{l} (1) \text{ donne : } T_s^4 = \dfrac{I}{\sigma} + T_v^4 \\ (2) \text{ donne : } T_s^4 = 2T_v^4 - T_a^4 . \end{array}\right\} \quad \boxed{T_v^4 = \frac{I}{\sigma} + T_a^4} \qquad (3)$$

Remplaçons σT^4 par sa valeur, nous obtenons immédiatement :

$$\boxed{T_s^4 = 2\frac{I}{\sigma} + T_a^4} \qquad (4)$$

Nous pouvons donc conclure que la Température *du sol* sous enceinte vitrée est théoriquement la même que si le rayonnement solaire était *double*.

et que la T° *du verre* est la même que celle d'un corps noir dont une face serait exposée au rayonnement et dont l'autre serait thermiquement isolée. (Ces deux formules ont d'ailleurs déjà été établies dans la littérature).

Si nous n'admettons pas que le sol ni le milieu ambiant soient des corps noirs, nous introduisons des coefficients d'émission e_s et e_a.

Dans ce cas, l'expression de T_v devient :

$$T_v^4 = \frac{I}{\sigma} + e_a T_a^4 \qquad (5)$$

et celle de Ts :

$$T_s^4 = \frac{e_a T_a^4}{e_s} + \frac{2 I}{e_s \sigma} \qquad (6)$$

ce qui ne modifie guère les conclusions ci-dessus. Nous nous sommes borné à supposer que le verre était transparent pour le rayonnement solaire ($\alpha' = o$) mais opaque aux autres radiations ($\alpha^* = 1$) ; que, par conséquent, il ne possédait qu'un coefficient d'émission, celui correspondant aux longueurs d'onde d'un corps noir à T° ambiante.

B. **Matières plastiques.**

1) Type polyéthylène.

Ce matériau est plus transparent à l'I.-R. que le verre (donnons à e_p et a_p une valeur β), mais de transparence égale à celui-ci pour le spectre solaire (transparence supposée totale).

Nous obtenons, par la même méthode que précédemment, les valeurs suivantes :

$$T_p^4 = \frac{1}{2-\beta} \frac{I}{\sigma} + T_a^4 \qquad (7)$$

et

$$T_s^4 = \frac{2}{2-\beta} \frac{I}{\sigma} + T_a^4 \qquad (8)$$

La T° du sol est telle qu'il semble recevoir 2 fois le rayonnement solaire (comme sous verre) mais à un facteur de proportionnalité près : $\frac{1}{2-\beta}$, le même facteur que celui trouvé pour le plastique (T_p^4).

$\frac{1}{2-\beta}$ est toujours inférieur à 1 (puisque $\beta < 1$) et d'autant plus faible que β, (c'est-à-dire e_p ou a_p) est faible.

Sous un matériau supposé aussi transparent que le verre au spectre solaire mais plus transparent que lui à l'I.-R, le bilan énergétique fait apparaître une différence d'apport calorifique d'expression $\frac{1}{2-\beta}$.

2) Type polyester. c.-à-d. matériau moins transparent que le verre aux rayons solaires mais présentant également l'effet de serre.

Si a est le coefficient d'absorption moyen pour l'ensemble du spectre solaire, on obtient l'expression suivante pour T_p :

$$T_p^4 = \frac{I}{\sigma} + T_a^4 \qquad (9)$$

ce qui correspond exactement à l'expression calculée pour le verre T_v^4.

On aboutit enfin à ;

$$T_s^4 = (2\text{-}a)\ \frac{I}{\sigma} + T_a^4 \qquad (10)$$

ce qui signifie que, dans ce cas, la T° du sol est telle qu'elle correspond à celle qu'il aurait eue sous verre, mais à une différence près : celle due à l'absorption (par le plastique) du spectre solaire (a).

3) Type polyéthylène noir.

Nous croyons intéressant d'envisager ce cas très particulier car il nous permettra de tirer un certain nombre d'enseignements.

Les courbes que nous avons données plus haut, de même que les corrections à apporter aux valeurs mesurées de la transparence nous permettent d'estimer totale l'absorption du rayonnement solaire et égale à 50 % celle de l'I.-R. (3 à 35 μ). Par conséquent, « e » et « a », dans l'I.-R. valent 1/2.

Dans ce cas l'on obtient.

$$T_p^4 = \frac{4}{3}\ \frac{I}{\sigma} + T_a^4 \qquad (11)$$

puis

$$T_s^4 = \frac{2}{3}\ \frac{I}{\sigma} + T_a^4. \qquad (12)$$

La température du sol, dans ces conditions, est donc théoriquement la même que si ce dernier ne recevait que le *tiers* de l'énergie solaire qui l'atteint dans le cas d'un vitrage.

CHAPITRE IV

INDICE DE REFRACTION DES MATÉRIAUX

CONSÉQUENCES DE SA VALEUR

Pour les matériaux bien connus (verre), on se contente généralement de mesurer l'indice de réfraction pour la raie du sodium et d'estimer la constante ν, inverse du pouvoir dispersif, définie par $\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$ ou la dispersion : $D = n_F - n_C$.

Comme la valeur de l'indice de réfraction des matériaux que nous étudions est peu connue, il est intéressant de ne pas se limiter à déterminer n_D, mais aussi d'établir la *courbe de dispersion* de ces matériaux, c'est-à-dire la courbe des variations de l'indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde.

1. – INDICE n_D, DISPERSION D ET CONSTANTE D'ABBE ν.

De nombreuses mesures ont été effectuées dans nos laboratoires au moyen de divers réfractomètres (notamment celui d'Abb) à des températures comprises entre 20 et 30° C, sur des échantillons de matériaux de fabrications diverses. Des valeurs assez différentes ont été obtenues ; nous n'en donnerons que les extrêmes.

Les spécialistes de la fabrication des matières plastiques mettront certainement les différences notées en relation avec la nature exacte du produit et sa fabrication.

MATÉRIAU	n_D (20 à 30° C)	DISPERSION $n_F - n_C$	Valeur de n_D correspondante	$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$
1. « Plexiglas »	*1,483* à 1,489	0,012	1,489	40,7
2. Polyester film	1,483 » 1,492	0,010	1,489	48,9
3. Verre	1,495 » 1,516	0,009	1,516	57,4
4. P.V.C.	1,526 » 1,528	» 11	1,528	47,9
5. Résine Polyester vieillie	1,550 » 1,562	» 12	1,558	46,5
6. Résine Polyester fraîche	1,515 » 1,562	» 20	1,515*	25,8 et 24,1
7. Polyester stratifié	1,549 » 1,655	» 12	1,549	45,8
8. Polyéthylène	1,511 » 1,653	» 15	1,512	34,2
9. Polyamide F (0,25 mm)	1,530 » 1,667	» 12	1,533	44,4
10. Polystyrène	1,560 » *1,712*	» 21	1,570	27,1

(*) Et aussi 1,482, car présente deux fois la double réfraction.

Il est intéressant de noter que deux *Polyéthylènes* de même n_D ont une dispersion n_F-n_C très différente d'où une constante d'Abbe très variable et ce, parce que leur « origine » n'est pas la même ; ainsi les échantillons dont nous disposions ont donné :

Polyéthylène « Sidac » : $n_D = 1{,}512$ $D = 0{,}015$ $\nu = 34{,}1$.

Polyéthylène « Cellophane » : $n_D = 1{,}511$ $D = 0{,}009$ $\nu = 56{,}8$.

De même, les 5 *stratifiés polyesters* utilisés au cours de nos essais ont donné les valeurs suivantes :

Polyester stratifié : 1 :	$n_D = 1{,}551$	$D = 0{,}014$	$\nu = 39{,}4$
2 :	1,572	0,021	27,2
3 :	1,549	0,012	45,7
4 :	1,556	0,015	37,1
5 :	1,572	0,022	26

On voit donc combien les facteurs « fabrication » et « nature exacte du produit » sont importants pour le polyéthylène par exemple, et combien la nature de la résine et le « fini » du matériau peuvent faire varier la dispersion des polyesters.

Nous ne pouvons poursuivre plus loin cette étude différentielle. Mais nous admettrons que, en général, les matériaux utilisés en construction horticole présentent des indices de réfraction dont les valeurs sont situées grosso-modo entre 1,4 et 1,8.

Nous nous baserons par conséquent sur ces extrêmes pour estimer les conséquences que peut avoir l'utilisation d'un matériau plutôt que d'un autre, du seul point de vue pertes par réflexion sur les deux faces de ceux-ci.

2. DÉTERMINATION DU FACTEUR SPECTRAL DE RÉFLEXION DE QUELQUES MATÉRIAUX.

Nous avons prié le « Comité électrotechnique belge » (Laboratoire Central d'Électricité, 2, rue de la Vanne, Bruxelles) de déterminer, pour nous, le facteur spectral de réflexion dans l'U.-V., le visible et le proche I.-R., sous une incidence aussi voisine que possible de la normale (celle-ci a été fixée, pour les besoins de l'expérimentation, à 8°) de quelques matériaux bien typiques.

A) **Spécification des échantillons.**

7 échantillons numérotés de 1 à 7, et présentant les caractères suivants, ont été examinés :

Échantillon	Dénomination	Aspect	Épaisseur
1	Verre	—	3 mm
2	Polyéthylène	semi-laiteux	0,1
3	P.V.C.	brillant	0,4
4	Polyamide	brillant	0,04
5	Polystyrène	brillant	0,15
6	« Plexiglas »	brillant	5
7	Polyester stratifié	assez brillant	1

Pour le praticien, ces échantillons, à l'exception des n° 2 et 7 (polyéthylène et polyester), apparaissent comme franchement transparents. C'est d'ailleurs la difficulté majeure rencontrée dans la détermination du pouvoir réflecteur. Le cas du polyéthylène est intermédiaire entre celui d'un matériau transparent (transmission régulière) et celui d'un matériau translucide (transmission diffuse).

B) **Méthode de travail.**

Étant donné la nature des matériaux, la mesure porte essentiellement sur le *facteur de réflexion spéculaire* (voir fig. 27).

Nous allons décrire la méthode suivie dans ses grandes lignes et mettre l'accent sur certaines particularités qui nous paraissent dignes d'être signalées.

Le cas des échantillons n° 2 et 7 (diffusion autour d'une direction privilégiée) exigera de plus une exploration géométrique de la réflexion autour de la direction de réflexion régulière (et une comparaison avec un diffuseur orthotrope connu).

Laissons provisoirement de côté ces cas particuliers ; la méthode générale de mesure est la suivante : le facteur spectral de réflexion spéculaire est établi par comparaison avec un miroir-étalon constitué par une surface aluminisée optiquement plane. Chaque échantillon est monté sur un support plan pourvu au centre d'une ouverture circulaire de 5 cm de diamètre.

Le miroir étalon et l'échantillon sont, pour chaque longueur d'onde de mesure, successivement présentés à l'intersection des axes d'un faisceau de lumière et d'un spectrophotomètre (Zeiss, type P M Q 2). Ce miroir et l'échantillon investigué sont, à cet effet, placés dans une glissière permettant leur substitution. Cette glissière, à son tour, est montée sur un dispositif goniométrique à deux axes de rotation orthogonaux.

Pour chaque mesure, on recherche l'orientation correspondant au maximum d'intensité réfléchie, c'est-à-dire à la réflexion régulière.

Le rapport des deux lectures obtenues est celui des facteurs spectraux de réflexion spéculaire pour la longueur d'onde sélectionnée par le spectrophotomètre (pour certains échantillons, voir remarque plus loin).

Les facteurs spectraux pour le miroir étalon sont tirés de « Laboratory Instruments — Eliott et Horne Dickson ». La disposition des objets est telle que les angles d'incidence et de réflexion sont de 8°. La source utilisée est une lampe à hydrogène pour l'ultra-violet et une lampe à incandescence pour le visible et l'infra-rouge proche.

Les éléments photorécepteurs sont un tube photomultiplicateur pour l'ultra-violet et le visible et une cellule photoélectrique à tension appliquée pour l'infra-rouge. La sensibilité de cette dernière permet d'atteindre 1200 mμ. Il ne nous a, par conséquent, pas été possible d'atteindre les 2,5 microns comme nous l'aurions souhaité.

Le faisceau de lumière incidente est diaphragmé de façon à ce que la plage éclairée soit entièrement comprise dans la portion de l'échantillon tendue au-dessus de l'ouverture centrale de son support. Cette façon d'opérer élimine tout effet de réflexion de ce dernier.

Remarque

Pour les échantillons n° 2 et 7 (polyéthylène et polyester), la mesure avec le miroir comme étalon ne fournit qu'une valeur proportionnelle au facteur global de réflexion permettant d'étudier la variation spectrale de ce dernier. Pour atteindre dans l'absolu le facteur de réflexion précité, on substitue au miroir, comme élément de référence, une surface plane de carbonate de magnésium, laquelle constitue un diffuseur orthotrope de facteur de réflexion pratiquement égal à 0,95 (dans le visible).

La détermination de la variation de l'intensité réfléchie avec l'angle de réflexion et sa comparaison avec la valeur obtenue avec le carbonate de magnésium permet, par une intégration de Rousseau, de déterminer le facteur global de réflexion (voir fig. 26). L'opération, effectuée à la longueur d'onde de 500 mμ, permet alors, par proportionnalité, de ramener les résultats de l'analyse spectrale effectuée avec le miroir comme étalon, aux niveaux des facteurs globaux de réflexion.

Les échantillons de polyéthylène (n° 2) et de polyester (n° 7) constituent comme déjà souligné, un cas spécial car ce sont des diffuseurs à direction privilégiée. Une exploration goniométrique de l'intensité réfléchie a donné les résultats de la fig. 26 (maximum pris arbitrairement égal à 100).

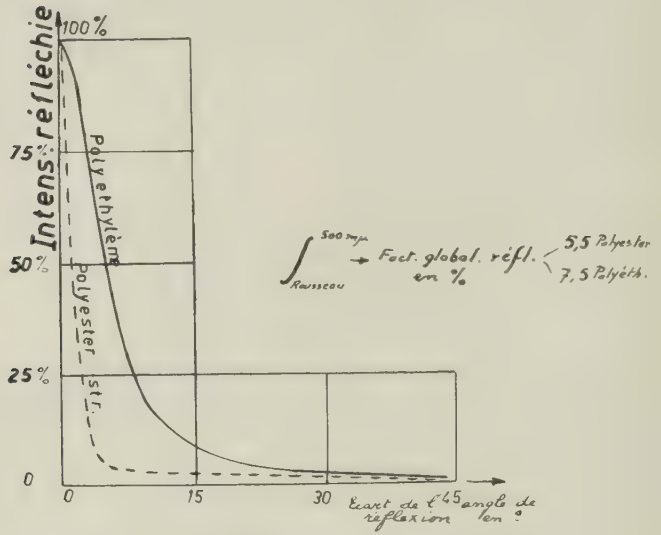


FIG. 26. — Diffusion à direction privilégiée

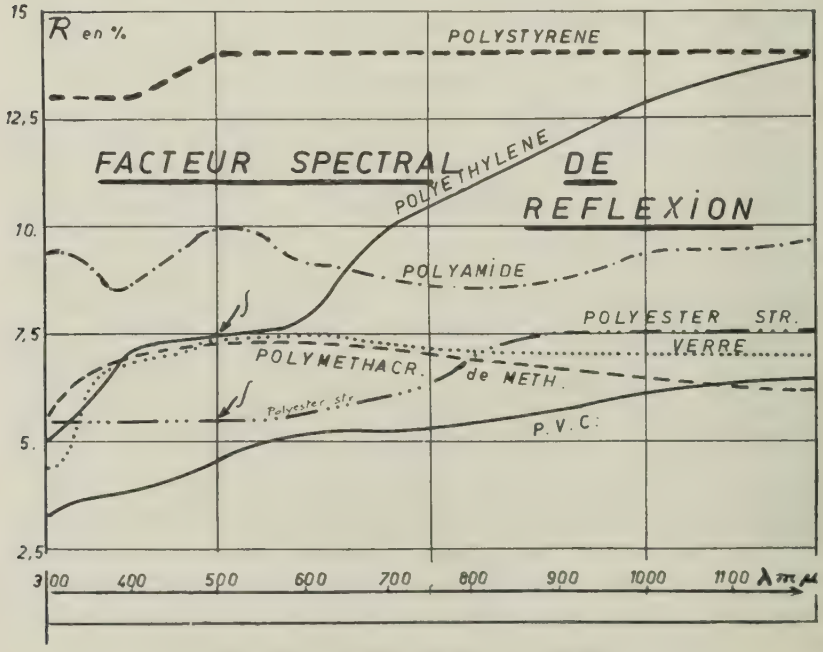


FIG. 27. — Facteur spectral de réflexion

A la même échelle, un diffuseur parfait donnerait, dans le cas du polyéthylène, une valeur de 35 et, dans celui du polyester, de 2,8. L'intégration selon la méthode de Rousseau conduit alors à un facteur global de réflexion (à 500 mμ) égal respectivement à 7,5 et 5,5 % qui fixe le niveau pour les autres longueurs d'onde lors de l'analyse spectrale de la réflexion suivant la méthode du miroir (voir fig. 27).

Conclusions

Retenons surtout l'allure générale de variation du pouvoir réflecteur des divers échantillons.

En effet, on observe, pour des λ croissantes et pour les *matériaux plastiques en film*, une augmentation plus ou moins sensible de la valeur de ce pouvoir réflecteur, surtout pour le polyéthylène, cas particulier comme nous l'avons montré, qui voit la valeur de son pouvoir réflecteur croître assez rapidement. Au-delà de 1200 mμ, il semble d'après quelques mesures « d'orientation », que l'allure générale de la courbe reste la même, c'est-à-dire en fait que pour la plupart des matériaux, le pouvoir réflecteur reste à peu près constant, tout au moins jusque 2 microns environ.

Le *verre et le plexiglas* conservent une valeur constante ou même légèrement plus faible au-delà du visible.

Il est malaisé de raccorder avec précision les valeurs obtenues par la méthode ci-dessus décrite et celles admises généralement pour n_D. Cependant, une concordance très satisfaisante est à noter dans l'ordre de grandeur des pertes par réflexion.

En résumé : Nous pouvons admettre que les valeurs couramment utilisées du pouvoir réflecteur du matériau c'est-à-dire celles de n_D représentent assez bien la valeur moyenne de ce même pouvoir réflecteur, dans les limites du spectre solaire ou plus exactement dans celles des rayons dont la longueur d'onde correspond plus ou moins au maximum d'émission solaire... Nous estimons par conséquent que les différences que l'on pourrait mettre en évidence par calcul (rapport au spectre d'émission solaire) sont minimes et peuvent être négligées dans les conditions particulières des estimations que nous effectuons ici. Seul le cas du polyéthylène et celui du polyester méritent que l'on fasse quelques réserves...

Note

Ces données obtenues au moyen d'une technique aussi rigoureuse nous dispensent de signaler toutes les autres déterminations que nous avons effectuées préalablement au moyen de divers appareils moins précis, tels le « Réflectromètre » Dr Lange et le « Brillancemètre » de même fabrication.

Le « Réflectomètre » est un appareil dans lequel la radiation d'une lampe à filament traverse d'abord un espace circulaire laissé libre au centre d'une cellule photoélectrique avant de venir en contact avec le matériau et être réfléchie par lui vers la cellule en forme de couronne qui le surplombe.

Le « Brillancemètre » est un appareil similaire mais dont le faisceau lumineux, au lieu de frapper le matériau sous incidence normale, atteint celui-ci à 45°. La cellule se trouve par conséquent à 45° également et dans la direction du faisceau.

On conçoit le peu de précision de ces deux appareils étant donné d'abord la nature du faisceau lumineux incident, (lumière non-monochromatique avec maximum d'émission pour une longueur d'onde déterminée) ensuite, la courbe de sensibilité de la cellule qui, elle aussi, présente un maximum, vraisemblablement différent du premier. Les déterminations ont été effectuées sur fond noir brillant, noir mat (corps noir presque parfait) miroir (verre métallisé) et corps blanc brillant.

Les résultats obtenus sont très malaisés à interpréter et l'imprécision des appareils utilisés nous paraît être supérieure aux différences observées entre matériaux. Nous les passerons par conséquent sous silence, comme d'ailleurs ceux obtenus à l'appareil « Elrepho » destiné à la mesure du blanc (brightness) des matériaux, malgré le fait que la lumière utilisée dans cet appareil soit monochromatique...

3. - APPLICATIONS. CONSÉQUENCES DES VALEURS DE n_D.

La connaissance de la valeur de l'indice de réfraction des divers matériaux utilisés pour le recouvrement des serres prend toute son importance lorsque l'on évalue les *pertes par réflexion* au niveau de ces matériaux.

L'intensité lumineuse parvenant effectivement aux végétaux qui croissent sous le-dit matériau n'est, en effet, qu'une fraction de celle qui atteint ce dernier ; la différence entre ces deux intensités est fonction directe du pouvoir réflecteur du matériau, lui-même proportionnel à la valeur de l'indice de réfraction du même matériau, et dépendant de l'angle d'incidence du faisceau lumineux.

Nous basant sur les formules classiques, nous avons calculé, dans un certain nombre de cas particuliers de position du soleil au-dessus de l'horizon, les pertes par réflexion en fonction de l'angle d'incidence des rayons solaires, de l'inclinaison et de l'orientation de surfaces formées de divers matériaux, ceux-ci possédant des indices 1,4 et 1,8.

1. La portion de droite de la fig. 28 reproduit, pour les azimuts de 0 à 180°, les valeurs du rayonnement du ciel (courbe 1) et du soleil atteignant la surface du versant considéré (2) et celle du total ciel plus soleil (3) lorsque le soleil, au midi, atteint une hauteur de 10°. Ces valeurs ont été

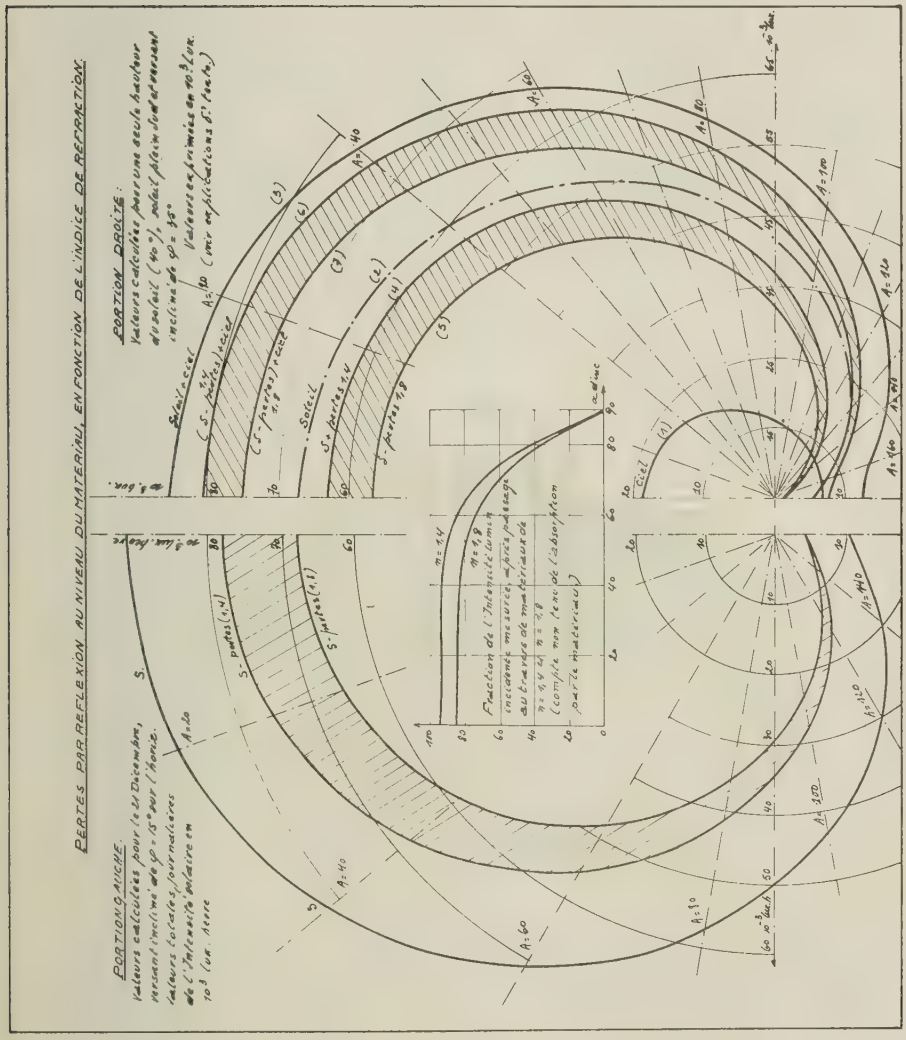

PERTES PAR REFLEXION AU NIVEAU DU MATERIAU, EN FONCTION DE L'INDICE DE REFRACTION
PORTION DROITE :
PORTION GAUCHE :
Fraction de l'intensité lumineuse incidente mesurée après passage au travers de matériaux
Ciel
Sol

FIG. 28

calculées en déterminant, pour chaque azimut, l'angle fait par le soleil avec la normale à la paroi et en tenant compte de cette valeur pour estimer l'intensité lumineuse solaire effective dans chaque cas. Comme dit plus haut, nous avons supposé la lumière du ciel comme parfaitement diffusée, et non sujette à des pertes par réflexion au niveau du matériau. En calculant l'affaiblissement du rayonnement solaire (fonction de la valeur de l'indice de réfraction du matériau, comme le montre le graphique inclus entre les courbes), nous avons obtenu les courbes (4) et (5) correspondant respectivement à des matériaux d'indice 1,4 et 1,8.

Si l'affaiblissement par réflexion au niveau du matériau n'est plus rapporté aux seuls rayons solaires (considérés comme seuls « touchés » par ce phénomène) mais au rayonnement total (soleil plus ciel), leur valeur absolue inchangée conduit à l'obtention de valeurs relatives plus faibles et ce, d'autant plus que l'importance de la lumière « du ciel » est grande par rapport à celle du soleil pour les conditions d'orientation du versant de la serre. (courbes 6 et 7).

A titre d'exemple, voyons ces valeurs pour le soleil à 40° et un versant incliné à 35° sur l'horizontale (ciel serein, conditions idéales de transparence de l'atmosphère).

Valeurs relatives des rayonnements du Soleil et du Ciel

Azimut du versant	Rayonnement solaire	Ciel	Ciel/Soleil
0	67,3 . 10^3lux	18,3 . 10^3lux	27,2 %
20	65,5	18	27,5
40	60,2	17	28,2
60	51,9	15	28,9
80	42,5	14,1	33,2
100	31,3	10,5	33,6
120	21,6	9	41,6
140	13,2	7,9	59,8
160	7,9	7,3	92,4
180	6,1	7,1	116,4

On comprendra que des pertes de l'ordre de 80 % du rayonnement solaire direct ne représentent effectivement qu'un maximum de 40 % de la radiation totale reçue, lorsque le rayonnement du ciel atteint, pour ces surfaces, celui du soleil.

2. La portion gauche de la fig. 28 représente, non plus les intensités lumineuses reçues à un moment donné par des surfaces diversement orientées, mais le total : intensité lumineuse moyenne horaire (lux. h) reçue, pour l'ensemble de la journée considérée soit le 21 décembre, par une surface inclinée cette fois de 15° sur l'horizontale et orientée du sud au nord.

Nous reprenons quelques-unes de ces valeurs ci-dessous :

Azimut de la paroi	Int. lum. solaire incidente en 10^3 lux. heure	Pertes pour des matériaux de n = 1,4 en % Int. solaire	n = 1,8 en % Int. solaire	Différence $In_{1,4} - In_{1,8}$
0	92,2	14,7 %	26,5 %	11,8 %
20	89,7	15,4	27,1	11,7
40	82,3	17,3	29,3	11,8
60	71	21,3	32,8	11,5
80	57,4	27,3	38,3	10,8
100	43,2	36,4	45,8	9,4
120	30,3	45,7	54	8,3
140	19,9	56,7	61,9	5,2
160	12,8	57,1	62,9	5,8
180	10,4	55,6	60,6	5

Nous attirons l'attention sur le fait que cette portion gauche du graphique est exprimée en lux. heures et représente une luminosité journalière (à un coefficient de proportionnalité près) comme il a déjà été fait dans le cas de la comparaison verre martelé/verre à faces parallèles.

On peut, d'après la dernière colonne du tableau précédent, estimer à 12% de l'intensité lumineuse solaire, la valeur maximale des pertes qui peuvent, au cours d'une journée, être observées suite à l'utilisation de matériaux d'indice de réfraction 1,8 par rapport à d'autres dont n_D ne dépasse pas 1,4.

Ces 12% peuvent, en s'additionnant aux autres sources d'affaiblissement lumineux, porter le total à une valeur réellement catastrophique...

CHAPITRE V

ÉTUDE DES MATÉRIAUX DIFFUSANTS

A. — MATÉRIAUX DIFFUSANTS A L'ÉTAT FRAIS.

La majorité des matériaux plastiques ne sont pas, même à l'état frais, optiquement vides. Cela signifie donc qu'ils diffusent la lumière visible dans des proportions variables.

Il importe, par conséquent, de caractériser non seulement le coefficient de transmission totale, mais également le coefficient de diffusion (« HAZE ») qui est le rapport de la quantité de lumière « dispersée » à la totalité transmise (T_{tot}), directement (T) ou par diffusion (D) :

$$\text{« HAZE »} = d = \frac{D}{T_{tot}} = \frac{D}{T+D} \text{ ou } \frac{100\,D}{T_{tot}} .$$

Nous allons voir que ce coefficient de diffusion est fonction de divers facteurs qui, en eux-mêmes, n'agissent qu'assez peu sur la transmission totale (ils se bornent presque uniquement à modifier le rapport T à D, intensité directement transmise et intensité transmise par et après diffusion).

Notons encore que la formule ci-dessus démontre que la transparence, phénomène général, n'est pas fonction uniquement de la transmission directe de la lumière par le matériau mais dépend également du pouvoir diffusant. Deux stratifiés de même coefficient moyen de transmission directe peuvent, par conséquent, posséder une transparence totale très différente s'ils accusent des pouvoirs diffusants très peu semblables...

DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES DE L'APPAREIL DE MESURE DU HAZE MÉTHODE 3021 ; NORME AMÉRICAINE

L'échantillon utilisé doit avoir environ 5 cm de diamètre. La source lumineuse consiste en une lampe à filament montée sur réflecteur et placée dans un cylindre noirci intérieurement ; la base de ce cylindre opposée au réflecteur est close et percée uniquement d'une ouverture de 2,5 cm de diamètre. Un disque circulaire noirci et percé d'un trou identique à celui du «fond» du cylindre est placé directement devant une cellule photoélectrique (de caractéristiques déterminées) à 45 cm de la source. Le tout est enfermé dans une sorte de boite noircie sur toutes ses faces intérieures et hermétique à toute rentrée de lumière.

3 mesures au moins sont effectuées de la façon suivante pour chaque échantillon. Celui-ci est d'abord placé derrière le disque devant la cellule qui, dans ce cas, mesure la totalité de la lumière transmise. Ensuite

l'échantillon est placée contre la source, à 45 cm du disque D. La cellule mesure alors la fraction non déviée de la lumière transmise.

La différence des deux lectures donne l'intensité diffusée par le matériau et le HAZE est calculé en divisant cette différence par la mesure obtenue dans le 1er cas et en multipliant par 100.

Nous donnons, ci-dessous, quelques résultats obtenus par cette méthode.

MATÉRIAUX	ÉPAISSEUR en mm	TRANSMISSION totale T+D en %	DIFFUSION HAZE	DIFFUSION D : en% de (T+D)	TRANSMISSION directe : T
Polyéthylène	0,08 mm	90	5	4,5	85,5
	0,10 mm (autre fabric.)	88,5	12	10,5	78
	3,5 mm	52	82	42,5	9,5
P.V.C.	0,40 mm	90	4	3,5	86,5
	1,1 mm	85	5	4	81
Polyamide	0,04 mm (R)	92	12	1	91
	0,25 mm (F)	89	3	2,5	86,5
Polyéthylène renforcé de tarlatane	0,5 max.				
	0,05 min.	67	2,1	1,4	65,6
Polyesters stratifiés					
n° 1 : frais	1,5 mm	84	41	34,5	49,5
n° 2 : frais	1 mm	70	55	38,5	32,5
» vieilli (*)	1 mm	58	59	34,2	23,8
n° 3 : frais	0,8 mm	83,5	12	10	73,5
n° 4 : frais	1 mm	78	41	32	46
» vieilli (*)	1 mm	68,1	41	28	40

(*) Après 7 mois d'utilisation « horticole ».

Nous remarquons que le Polyéthylène, même à épaisseur de l'ordre du 1/10 de mm, diffuse la lumière dans des proportions non négligeables ; sur 100 % d'intensité lumineuse incidente, 90 % environ sont transmis, et 5 à 11 de ces 90 % sont diffusés par le matériau d'épaisseur 0,08 à 0,1 mm. Ces valeurs sont fonction de la fabrication du matériau, cela se conçoit.

A titre documentaire, disons que le polyéthylène de la Sidac sous épaisseur de 3,5 mm, posséde un aspect totalement laiteux, une transmission de 52 % seulement pour l'entièreté du visible, 52 % dont 42,5 (soit 82 % de ce qui est transmis) sont diffusés au sortir du matériau.

Le P.V.C., lui, à épaisseur 5 fois plus forte que le polyéthylène, possède un HAZE inférieur ou au plus égal à celui de ce dernier. Le pouvoir diffu-

sant des autres films plastiques reste du même ordre de grandeur : 2-3 %, c'est-à-dire qu'il est relativement négligeable.

Si nous comparons le 1er et le 4e polyester stratifié, nous remarquons que, pour une transparence totale égale pour l'ensemble du visible (84 %), les pourcentages de transmission directe (non diffusé) sont très différents (49,5 et 73,5 %) ; le haze est d'ailleurs de 41 dans le premier cas et de 12 seulement dans le second (34,5 % et 10 % de la lumière totale transmise sont diffusés). L'examen des matériaux permet de comprendre aisément le pourquoi de ces différences : le premier matériau est formé de laine de verre beaucoup plus régulièrement dispersée dans la résine, tandis que le second laisse apparaître de larges plages de résine exempte de laine de verre, celle-ci étant agglomérée çà et là en pelotons très denses.

Le matériau n° 2 dans lequel la laine de verre est plus dispersée encore dans la résine possède d'ailleurs le Haze le plus élevé, ce qui confirme le bien-fondé de notre explication ci-dessus.

Suivant les conditions d'utilisation des polyesters, l'importance du haze peut diminuer ou au contraire s'accroître. En hiver, c'est la transmission totale (D + T) qui importe ; par un été ensoleillé, un matériau à haze élevé offrira une meilleure protection contre les brûlures des plantes.

Remarques

1) Le spectre d'émission de la source lumineuse utilisée est celui d'une lampe à incandescence de faible puissance (6 volts, 5 amp.). Étant donné, cependant, que la cellule photoélectrique de mesure est munie d'un filtre corrigeant sa courbe de réponse suivant la courbe de sensibilité relative de « l'œil international moyen », on peut considérer que la mesure des facteurs de transmission et de diffusion (haze) se fait uniquement en lumière « visible ».

2) Nous avons étudié, au chapitre précédent, les caractéristiques physiques du phénomène de diffusion du polyéthylène et des polyesters (réflexion à direction privilégiée). Nous n'y reviendrons pas. Nous nous bornons, au cours de ce chapitre, à envisager le phénomène sous un angle plus général. Il est certain que l'intégration de la courbe de dispersion des matériaux (valeur de n en fonction de la longueur d'onde) devrait nous permettre de calculer la valeur du « Haze » dont nous venons de parler. Mais comme le dit la remarque ci-dessus, il faudrait, pour ce faire, tenir compte du spectre d'émission de la lampe utilisée. Le Haze est donc une notion conventionnelle d'intérêt tout aussi particulier.

B. — MATÉRIAUX DIFFUSANTS APRÈS VIEILLISSEMENT.

Au bout d'un laps de temps, très court pour certains, un peu plus long pour d'autres, les films plastiques perdent la propriété à laquelle ils doivent leur nom : ils s'étirent, s'affaissent, deviennent cassants, perdent leur transparence par salissement.

En ce qui concerne les propriétés de plasticité, point n'est besoin d'une étude approfondie pour déterminer ce en quoi consiste le vieillissement.

Ce phénomène représente l'inconvénient le plus grave des matières plastiques, et il est de poids...

Jusqu'à preuve du contraire, nous ne pouvons admettre comme ayant une signification « horticole » les enseignements nés d'un vieillissement « in vitro » au cours duquel les films sont soumis :

a) à des radiations U.-V. de courte longueur d'onde (ces rayons ne parviennent pas à la surface de notre planète et rien ne prouve que l'action de l'U.-V. lointain (0,2 à 0,3 μ) soit, en plus accentué, celle de l'U.-V. proche (0,300 à $\pm$ 0,380 μ).

b) à des températures de 150° C (ce qui n'arrive jamais en horticulture, mais est remplacé par des différences absolues plus faibles et décalées vers les températures sous zéro degré).

c) à des trempages dans des acides plus ou moins concentrés : (les seuls acides arrivant au contact des plastiques, en horticulture, sont très dilués puisqu'ils proviennent de la mise en solution, par l'eau de pluie, des poussières atmosphériques, ou qu'ils sont du groupe « acides humiques » qui n'ont pas la réputation d'être bien « concentrés »...).

Par contre, ce que nous croyons correspondre mieux à la réalité, c'est une succession, mille fois répétée, d'allongements (tractions) plus ou moins brusques, simulant l'action du vent ; c'est l'irradiation par rayons U.-V. longs, visibles et I.-R. courts arrivant au contact du film, tantôt humide tantôt sec; c'est le passage plus ou moins rapide de températures de zéro° C, à celles de l'ordre de 25-30° C ; c'est enfin l'exposition d'un cadre tendu sur une enceinte dont le degré hygrométrique est souvent près de la saturation...

Le vieillissement de la plupart des matériaux plastiques est caractérisé non seulement par la perte des propriétés mécaniques du produit, mais encore par une nette augmentation de ses pouvoirs absorbant et diffusant.

1) Vieillissement des films.

Comme dit plus haut, 3 matériaux seulement ont pu être étudiés d'une façon approfondie : polyéthylène, P. V. C. et « superpolyamide ».

Nous avons également déjà fait remarquer que pour dissocier « vieillissement » de « salissement », nous avons lavé les échantillons à l'eau savonneuse, les avons rincés puis séchés avant d'en prendre le spectre.

Aspect « macroscopique »

Le polyéthylène « veilli » devient cassant et n'est plus plastique, prend une teinte brunâtre plus ou moins accentuée mais uniforme dans toute l'épaisseur. La diffusion par le matériau semble peu importante à l'œil nu. Une face reste cependant plus brillante : celle placée vers l'intérieur, l'autre devenant plus mate.

Le polyamide prend moins rapidement, semble-t-il, un aspect très semblable mais moins prononcé. Nous n'avons pas encore de matériau ayant atteint le stade de destruction (et ce, au bout de 1 an d'exposition).

Quant au P. V. C., son vieillissement est entièrement différent. Il brunit d'abord progressivement, devient de plus en plus translucide puis, brusquement, se dégrade profondément. La face extérieure devient brune et mate, la face intérieure (celle tournée vers l'enceinte protégée) restant brillante et même blanchâtre comme de la porcelaine. Les mesures de transparence variant donc suivant la disposition des faces de l'échantillon.

Pouvoir diffusant (Haze)

Voici les résultats de quelques mesures effectuées à l'appareil décrit plus haut.

Matériaux	Épaisseur en mm	Transmission totale T+D en %	Diffusion Haze	Diffusion D : en % (T+D)	Transmission directe T %
Polyéthylène					
Frais	0,08	88,5	12	10,5	78
Vieilli (8 mois)					
lavé					
côté mat					
vers la source	0,07	63	63	40	23
côté brillant					
vers la source	0,07	52	55	28,5	23,5
non lavé					
côté mat...	0,09	54	45	24	30
côté brillant...	0,09	52	40	21	31
Frais	0,1	90	5	4,5	85,5
Vieilli (6 mois) lavé	0,1	74	26	19	55
P.V.C.					
Frais	0,4	90	4	3,5	86,5
Vieilli (6 mois)					
lavé					
côté mat...	0,4	52	50	26	26
côté brillant...	0,4	45	39	17,5	27,5
non lavé					
côté mat...	0,4	38	60	22,5	15,5
côté brillant...	0,4	33	50	16,5	16,5
Vieilli (7 mois) lavé					
côté mat...	0,4	44	59	26	18
côté brillant...	0,4	40	55	22	18

Les chiffres du tableau de la page précédente nous paraissent très suggestifs. On remarque :

1) que le vieillissement s'accompagne d'une diminution réelle de la transparence.

2) que le pouvoir réflecteur de la surface du matériau, même lavé, varie au cours du vieillissement, suivant que cette surface est située vers l'intérieur de l'enceinte ou non.

3) que, à des pourcentages de transmission totale différents suivant la face orientée vers la source de l'appareil, correspondent, dans TOUS les cas, des pourcentages de transmission DIRECTE égaux.

4) que le pouvoir diffusant varie énormément d'un cas à l'autre, mais toujours de telle sorte que la lumière transmise directement par un matériau vieilli soit inférieure à celle traversant le matériau frais.

5) que l'influence du salissement est assez obscure : il diminue généralement la transmission totale et modifie le HAZE.

SPECTRE D'ABSORPTION

A titre d'indication nous avons reproduit aux fig. 29 à 31 quelques-uns des nombreux cas étudiés en détail au cours de notre travail. Nous laisserons de côté les stades extrêmes de vieillissements c.-à-d. ceux correspondant au matériau détruit, mécaniquement parlant ; mais nous nous ferions un plaisir de documenter le lecteur que la chose intéresserait...

Si nous envisageons la mesure de la transparence des matériaux que nous soupçonnons être plus ou moins diffusants, il doit nous paraître logique que la détermination au moyen d'appareils tel le spectrophotomètre BECKMAN pose des problèmes tout particuliers. Comme nous l'avons dit plus haut, le faisceau lumineux est limité par une fente de largeur fonction de la longueur d'onde à laquelle nous travaillons. Ces photomètres donnent des mesures d'autant plus exactes que le pinceau lumineux est étroit : la lumière parasite étant de ce fait moins importante et mieux éliminée.

Prenons le cas de la cellule « bleue » destinée aux déterminations de $200 \leqslant \lambda \leqslant 600$ mμ. A 328 mμ, la fente donnant une transparence « 100 % » est de l'ordre de 0,4 mm ; elle se rétrécit progressivement pour atteindre une largeur de 0,04 mm à 450 mμ, 0,03 mm à 500 mμ ; elle passe par un minimum d'environ 0,02 mm à 550 mμ ; au-delà de cette longueur d'onde, la largeur nécessaire augmente rapidement. Nous pouvons en conclure que la sensibilité et la précision de l'appareil sont maxima du « bleu » au début du « rouge ».

Au même appareil BECKMAN, la cellule « rouge » destinée aux mesures de $600 \leqslant \lambda \leqslant 1000$ mμ et au-delà, permet la détermination de la transparence au moyen de fentes dont la largeur passe de 0,13 mm (vers 600 mμ)

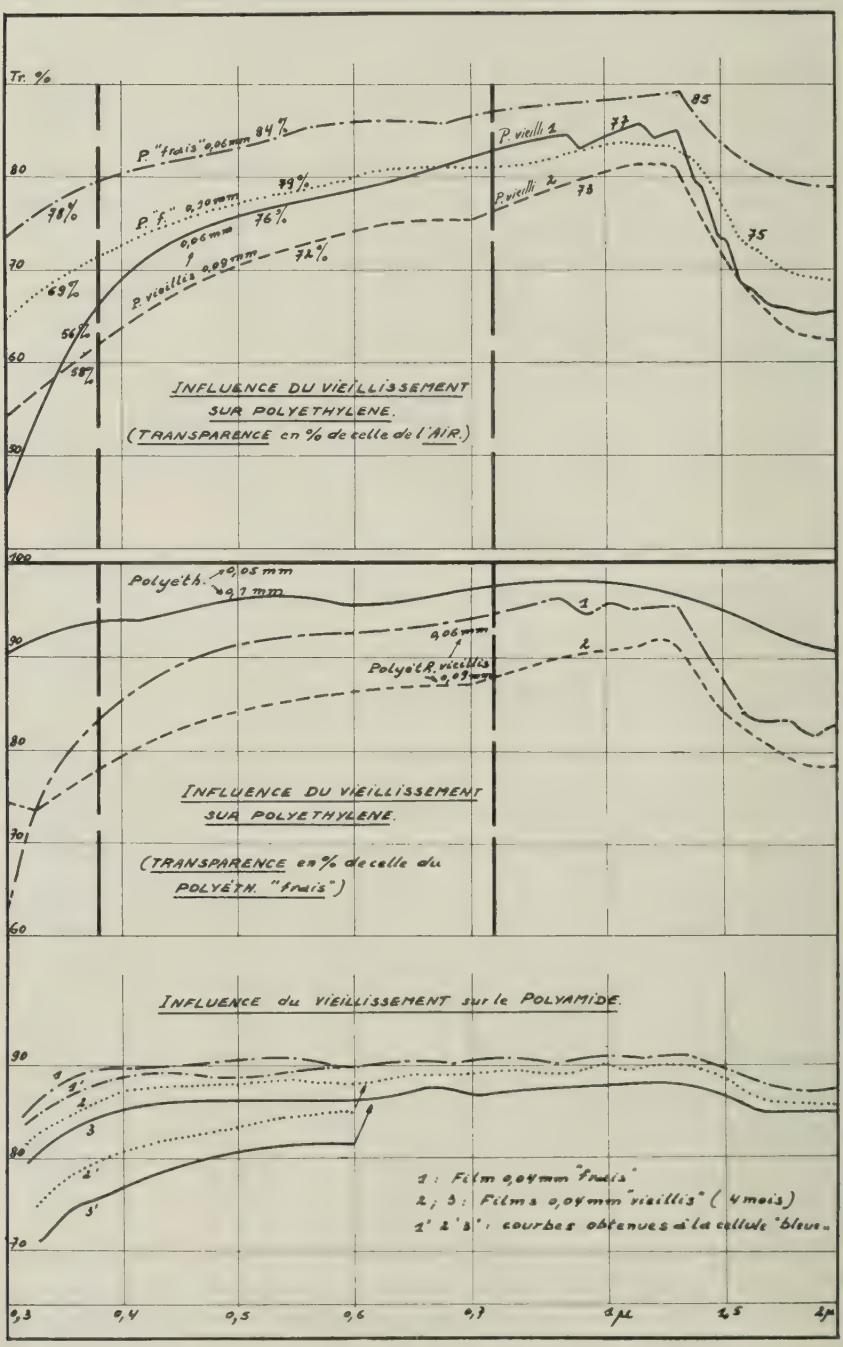


FIG. 29, 30 et 31

à 0,035 mm (aux environs de $\lambda = 1\ \mu$) ; au-delà, la fente doit s'élargir progressivement et rapidement, ce qui fait que souvent les mesures deviennent impossibles à partir de 1400 mμ, pour lesquels la fente est maximale (2 mm). La précision la meilleure est obtenue, conséquemment, entre rouge et I.-R. de longueur d'onde approximativement égale à 1 μ.

L'utilisation d'un tel appareil pour la mesure de la transparence de matériaux diffusants a pour conséquence l'obligation de travailler à fente plus ouverte que normalement, ce qui crée un apport de lumière parasite impossible à déterminer et à éliminer entièrement. D'un côté donc, on observe une perte de lumière par diffusion vers les parties moins sensibles de la cellule ou même en dehors de celle-ci ; de l'autre, on peut admettre un apport inopportun de flux dû à la diffusion de la lumière parasite et à la réception de celle-ci par la partie sensible de l'organe de mesure.

Et de fait, lorsque l'on tente de déterminer le spectre de transmission de matériaux diffusants avec des appareils de ce type, on observe immédiatement une non-concordance flagrante entre résultats obtenus à la longueur d'onde 600 mμ avec les deux cellules et un décallage entre les courbes de part et d'autre de cette longueur d'onde.

Pour remédier à cet inconvénient, nous avons interposé entre source lumineuse et matériau, contre ce dernier et face opale tournée vers lui, un **verre parfaitement diffusant.** Ainsi, la lumière était entièrement et régulièrement diffusée, et nous avons obtenu une amélioration nette des mesures en effectuant celles-ci non plus par rapport à l'air, mais par rapport à la transmission du verre opale.

Le problème prend plus d'importance encore dans le cas des polyesters stratifiés ; nous ne pouvons malheureusement l'aborder dans le présent travail, faute de place.

Nous nous bornerons à remarquer la rapidité avec laquelle les matériaux plastiques perdent de leur transparence en cours de vieillissement.

Lorsque le matériau est frais, la différence entre mesure à cellule « bleue » et à cellule « rouge » est de l'ordre de 3 à 5 % en lumière directe et est ramenée à 1 à 2,5 % lorsque les mesures s'effectuent avec interposition d'un verre opale. De toute façon, le « raccord » est possible en prolongeant les mesures en deçà ou au-delà de la limite 600 mμ.

Les matériaux « usés » devenant nettement plus diffusants, leur spectre est nettement plus malaisé à déterminer au spectrophotomètre et les différences de transmission obtenues avec les deux cellules à la même longueur d'onde deviennent catastrophiques.

Pour le P.V.C., la mesure avec interposition d'un verre opale permet déjà une amélioration des résultats qui se rapprochent sensiblement de ceux, globaux, donnés par l'appareil à mesurer le HAZE. Mais insistons sur le fait que nous ne considérons pas ces dernières valeurs comme étant à priori exactes...

En conclusion, le vieillissement des matériaux s'accompagne d'une diminution toujours nette mais plus ou moins rapide de leur transparence et d'une augmentation de leur pouvoir diffusant. Cette dernière propriété est source d'erreurs dans la détermination de la première et mérite une étude spéciale.

2) Vieillissement des polyesters stratifiés.

Le vieillissement des stratifiés peut prendre plusieurs aspects, suivant la fabrication, la polymérisation, l'imprégnation du mat, les caractéristiques résine-verre, etc.

Ces diverses questions sont d'ailleurs bien connues des spécialistes. Nous avons l'occasion de faire nombre d'observations concernant ce vieillissement au cours de l'expérimentation effectuée pour la C.E.P.E.H. (*Centre d'Essais des Polyesters stratifiés en Horticulture*, a.s.b.l. Siège : Chaire de Construction du Génie Rural, Institut agronomique de l'État, Gembloux).

Nous nous bornerons, par conséquent, à discuter certains problèmes plus généraux.

Le tableau de la p. 313 donne la valeur du HAZE d'un certain nombre de stratifiés. Les matériaux 2 et 4 ne montrent aucune augmentation significative de leur pouvoir diffusant à l'état vieilli par rapport à celui qu'ils possèdent lorsqu'ils sont encore « frais ». Naturellement, étant donné le fait que leur transparence totale diminue avec le degré de vieillissement, et ce d'une façon très sensible, le pourcentage de lumière transmis directement, sans diffusion aucune, varie dans le même sens : il passe de 32 à 24 % dans le premier cas et de 46 à 40 % dans le second cas.

Ces deux exemples ne nous permettent pas de tirer des conclusions générales, loin de là. Mais nous pensons que leur intérêt réside dans le fait que l'attention des spécialistes doit être attirée dans ce sens et que la détermination du HAZE doit faire partie, logiquement, de l'étude à laquelle sont soumis les matériaux après vieillissement.

Nous éviterons également de donner ici des spectres d'absorption de stratifiés. En effet, nous avons déjà insisté sur le fait que leur exactitude ne peut être que relative et fonction de la méthode utilisée. Mais cela mis à part, et même lorsque les déterminations ont été effectuées dans des conditions identiques — et partant, comparables — il n'est pas possible de tirer des lois générales quant à l'évolution de la courbe de transparence avec le vieillissement des matériaux. Les très nombreux spectres que nous avons établis démontrent à suffisance que chaque type de matériau réagit d'une façon différente, fonction, dans une certaine mesure, des conditions dans lesquelles s'effectue le vieillissement.

Mais nous croyons opportun de faire quelques remarques concernant les méthodes utilisées par certains laboratoires pour obtenir ce qu'ils ap-

pellent un « vieillissement accéléré ». Il semble, en effet, que les méthodes adoptées soient difficilement comparables, au point de vue résultat, à ce qui se passe lorsque les polyesters sont placés sur des charpentes et abritent des végétaux pendant un certain temps. Le matériau, n'étant pas rigide, travaille sans arrêt, se soulève et s'affaisse sous l'action du vent, crée une condensation très particulière à sa face inférieure, provoque une certaine fixation de poussières diverses ... autant de phénomènes que l'on ne peut reproduire artificiellement. Ce matériau n'est, de plus, exposé qu'au seul rayonnement solaire ; par conséquent, il ne reçoit que des radiations de longueur d'onde comprise entre 0,3 et 3 microns. Il ne peut donc être question, *a priori*, de chercher à intensifier le phénomène de vieillissement en augmentant la température de l'air ou en soumettant le matériau à des radiations autres que celles qui l'atteignent dans des conditions normales d'utilisation.

Nous ne nions pas, loin de là, la nécessité de trouver une méthode « d'altération » rapide des produits ; nous savons que c'est là un des impératifs majeurs pour les firmes productrices. Mais nous croyons nécessaire d'attirer l'attention sur l'inexactitude « horticole » des conclusions tirées dans bien des cas ; sur l'erreur de base qu'il y a, par exemple, à utiliser des U.-V. plus courts que ceux atteignant la surface de la terre pour chercher à intensifier l'action de ces derniers. Nous croyons utile de démontrer que chaque radiation de longueur d'onde déterminée possède ses caractéristiques propres qui ne sont pas, *a priori*, un reflet ou une intensification de celles de rayons de longueur d'onde plus grande ou plus courte. Nous voudrions surtout insister sur le fait que jamais les stratifiés utilisés en construction horticole ne voient leur température atteindre 100 ou 150° C, mais que, par contre, ils descendent parfois assez bas sous le point de congélation de l'eau. Si des gradients thermiques de 50 et même 60° C sont possibles, ce n'est certainement pas du côté des hautes températures, mais davantage du zéro centigrade et en dessous.

Les observations que nous avons faites nous ont conduit à attribuer, pour une large part, la responsabilité du jaunissement des stratifiés en cours de vieillissement, aux rayons U.-V. solaires : la présence d'« *U.-V. absorbers* » évite d'ailleurs cet inconvénient, c'est un fait connu, mais pose automatiquement le problème des conséquences possibles de l'absence totale d'U.-V. dans le spectre reçu par les végétaux. Il nous semble que cette absence est le moindre mal et que, même compte non-tenu de l'aspect inesthétique du matériau jauni, il est préférable de rayer volontairement du spectre de transmission du matériau la portion U.-V. (solaire) que de s'exposer à l'apparition d'un jaunissement qui, en s'intensifiant, absorbe une fraction croissante du spectre visible (avec un maximum d'absorption vers le violet-bleu, zone déjà fort défavorisée par le fait que le

pouvoir diffusant du matériau est inversément proportionnel à la quatrième puissance de la longueur d'onde...).

Il est aisé de démontrer que des U.-V. de $\lambda = 200$ mμ ne provoquent pas une altération plus intense que ceux de plus grande longueur d'onde, et surtout que le « visible » : le genre d'altération est tout autre.

Si l'U.-V. court possédait, comme l'affirment certains, la même action — mais en plus intense — que celui proche du visible, et s'il pouvait servir, comme on le prétend parfois, à obtenir un vieillissement plus intense en un laps de temps réduit, il n'y a pas de raison pour que les rayons X ne permettent pas de réaliser le même travail plus efficacement et plus rapidement encore !... C'est une démonstration « par l'absurde » de l'inexactitude de ce raisonnement que nous avons recherchée en faisant irradier aux rayons X une série d'échantillons de polyesters stratifiés, de verre et de polyméthacrylate de méthyle. Les résultats obtenus sont les suivants : comme prévu, *le verre* s'est altéré assez profondément ; une intensité de 10^5 Rad. a occasionné un certain brunissement dans la masse correspondant à une perte de transmission absolue de 12 % dans le visible et surtout localisée dans le début de celui-ci ; une intensité de 10^6 Rad. a déterminé l'apparition d'une teinte brunâtre très accentuée qui a eu comme conséquence de réduire la transparence au visible de 52 %. Le « *plexiglas* », lui, a très peu souffert du traitement : seul le début du visible a subi une légère absorption à l'intensité de 10^6 Rad. Quant aux *polyesters stratifiés*, loin de marquer le même type d'altération qu'aux U.-V., ils ont montré une constance de transparence remarquable : aucune altération n'a pu être mise en évidence.... !

Chapitre VI

TRANSPARENCE DES MATÉRIAUX COLORÉS

Il nous paraît opportun d'aborder ici le problème de la transparence des matériaux colorés, car celui-ci a, de tout temps, intéressé les agronomes.

L'apparition des matières plastiques permet une utilisation beaucoup plus large de cette catégorie de matériaux. Leur usage est double : *culture* proprement dite sous matériau destiné à modifier l'allure du spectre lumineux incident (c'est surtout là le but de diverses expérimentations) *et protection* (ombrage) plus ou moins efficace de végétaux pendant une période bien déterminée de l'année.

Nous ne pouvons rechercher ici l'intérêt des matériaux colorés du strict point de vue cultural : dans les conditions climatologiques de notre pays, l'absence totale ou partielle dans le spectre incident d'un groupe de radiations doit certainement — comme l'indique à suffisance le chap. I de ce travail — influencer défavorablement la végétation des cultures puisqu'aussi bien un maximum de transparence semble requis au moment de l'utilisation des matériaux pour le forçage... Le cas des constructions fixes, abritant des végétaux en croissance plus ou moins active, s'écarte sensiblement du précédent mais n'exclut pas le handicap dont nous venons de parler : une couverture permanente absorbant une fraction trop importante de la lumière incidente nous paraît peu souhaitable. Autre chose est la pose de rideaux amovibles de plastique coloré par exemple, pouvant être interposés entre plantes et source lumineuse ou, au contraire, retirés, et ce, au gré de l'horticulteur.

Si l'on envisage par contre l'utilisation des matériaux colorés dans les pays à luminosité (trop) intense, une étude sérieuse du spectre d'absorption des matériaux se révèle indispensable : une coloration bleue, par exemple, qui, à part une légère bande vers 0,6 μ se borne à absorber 10 à 20 % du visible (suivant son intensité), pourrait peut-être trouver application dans ces conditions, car elle ne modifie au fond pas le spectre, contrairement à ce que font d'autres « couleurs » caractérisées, elles, par la disparition totale ou partielle de tout ou partie du spectre...

Nous bornerons la présente étude à celle du *polyéthylène coloré*, passant sous silence Verre et Polyesters colorés dont l'examen nous entraînerait trop loin. Nous restons cependant à la disposition du lecteur que des résultats de mesures intéresseraient... (*).

(*) L'étude des polyesters colorés est envisagée dans un résumé du présent travail que nous publions, d'autre part, dans le n° III des *Annales de Gembloux* de cette année.

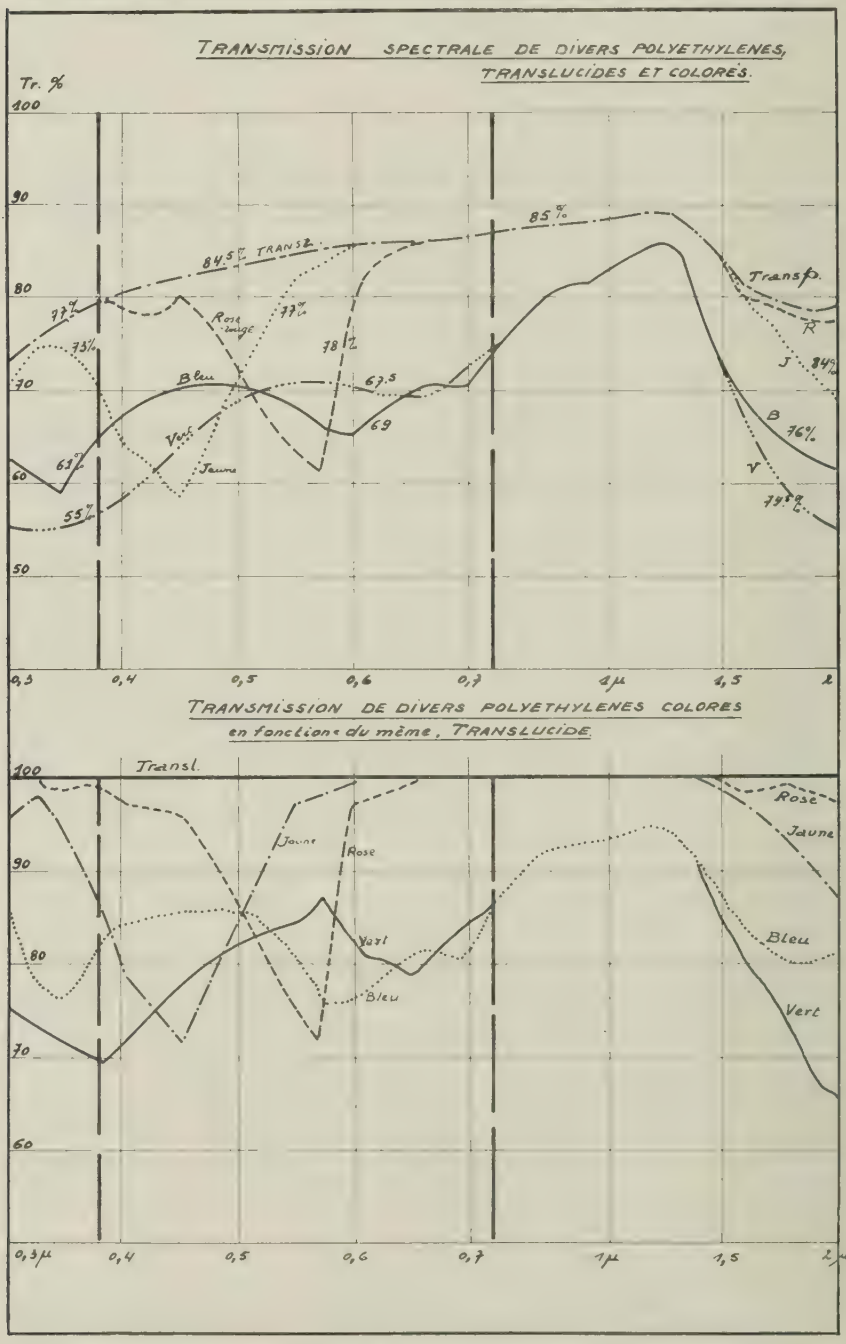

TRANSMISSION SPECTRALE DE DIVERS POLYETHYLENES, TRANSLUCIDES ET COLORÉS.
Tr. %
100
90
80
70
60
50
85 %
84,5 % TRANSP.
Transp.
R
J
B
V
Rose orange
77 %
77 %
78 %
73 %
Bleu
67,5
69
Vert
Jaune
63 %
55 %
79 %
84 %
76 %
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
1 μ
1,5
2
TRANSMISSION DE DIVERS POLYETHYLENES COLORES
en fonction du même, TRANSLUCIDE
Transl.
100
90
80
70
60
Jaune
Rose
Vert
Bleu
Rose
Jaune
Bleu
Vert
0,3 μ
0,4
0,5
0,6
0,7
1 μ
1,5
2 μ

FIG. 32 et 33

Polyéthylène coloré.

Nous avons effectué une série de mesures sur de nombreux échantillons-types, pour les diverses colorations actuellement dans le commerce, et les avons comparées à celles effectuées sur le matériau correspondant, non coloré (translucide), d'épaisseur équivalente (voir fig. 32 et 33).

Les phénomènes suivants sont immédiatement remarqués :

1) Les bandes d'absorption de diverses longueurs d'onde (et fonction de la « coloration » du film) sont plus ou moins égales en intensité, cette dernière variant naturellement avec l'épaisseur du film et l'intensité de la coloration, c'est-à-dire la concentration du colorant utilisé.

Les polyéthylènes « rose-rouge » et « jaune » présentent un minimum de transmission lumineuse situé respectivement dans le « jaune » et dans le « bleu », tandis que le polyéthylène « bleu » absorbe davantage l'U.-V. proche et le « jaune-orange » et que le polyéthylène « vert » présente deux maxima d'absorption : dans le « violet » et dans le « rouge ».

2) L'absorption des radiations de 0,3 à 2 μ par les films colorés en bleu et en vert est plus importante que celle de leurs correspondants colorés différemment : alors que les films « rose-rouge » et « jaune » ne se différencient du transparent que par leur bande d'absorption caractéristique et par une autre bande vers 1,5-2 μ, les autres colorations provoquent une diminution de la transparence échelonnée tout au long du spectre étudié.

3) Le spectre *U.-V.*, *visible* et *I.R.-court* de ces substances colorées s'écarte donc d'une manière assez nette de l'allure générale de transmission du correspondant translucide (non coloré). Mais, alors que le « bleu » absorbe nettement plus d'U.-V. et de « visible » que le « rouge », il se rapproche de celui-ci vers 1 micron, s'en écarte à nouveau vers 2,5 microns, puis le rejoint d'une façon caractéristique pour se confondre avec lui de 3 à 15 microns.

Le spectre *I.-R.* (3 à 15 μ) de tous les polyéthylènes colorés (le « noir » excepté) est d'ailleurs identique à celui du transparent tout au long de l'échelle susnommée (3 à 15 μ). L'influence de la coloration sur la transparence se limite donc aux $0{,}3 \leqq \lambda \leqq 2{,}5$ μ.

4) La figure 32 donne également les valeurs moyennes de transmission des divers polyéthylènes pour les trois régions suivantes du spectre : U.-V. (0,30 à 0,38 μ), visible (0,38 à 0,76 μ) et I.-R. (0,76 à 2 μ).

La fig. 33 reprend les mêmes spectres que la fig. 32, mais relus par rapport à celui du translucide poté à 100. L'examen de cette fig. 33 permet une comparaison plus aisée.

5) Quant au spectre d'absorption du *polyéthylène opaque* (noir), rappelons qu'il diffère de celui des autres sur toute sa longueur :

— absorption totale de 0,3 à 2,5 μ environ ;

— puis progression lente mais constante de sa transparence de 2,5 à 15 μ. A part les bandes normales vers 3,5-7 ainsi que 14 μ (bandes d'ailleurs très amorties), son spectre représente *grosso modo* une oblique allant de l'axe des abcisses à 2,5 μ et arrivant à 15 μ à une valeur de transparence de $\pm$ 30 % pour une épaisseur de 0,05 mm (transmission moyenne de 5 à 15 μ : 14 %) ;

— de 15 à 22 microns, sa transparence reste assez constante et égale plus ou moins à 70 % (ép. 0,05 mm) ;

— enfin, de 22 à 35 μ, les variations sont plus fortes et la transparence plus faible, ce qui se traduit, pour l'épaisseur de 0,05 mm, par une transmission moyenne dans l'I.-R. 15-35 μ de 67 % env. (se reporter également à la p. 298).

Donnons, pour terminer, les *conclusions générales* de nos travaux concernant la transparence des matériaux colorés :

1) Tout matériau coloré absorbe la lumière d'une façon plus intense que son correspondant transparent et ce, d'une manière générale sur l'entièreté du spectre (compte non-tenu des bandes spécifiques) et proportionnelle à l'intensité de son coloris.

2) Toute « couleur » absorbe sa complémentaire, ce qui est un fait bien connu : le jaune verdâtre absorbe le violet ; le jaune pur, l'indigo ; le bleu, l'orange, tandis que le bleu-verdâtre absorbe le rouge et l'orange, le bleu...

Chapitre VII

ÉTUDE DE LA CHALEUR

1. — GÉNÉRALITÉS.

Nous savons que, lorsqu'il existe entre deux corps, ou entre les diverses parties d'un même corps, une différence de température, il y a tendance à l'égalisation de ces températures par échange de chaleur ; ce dernier peut se produire par *rayonnement*, *convection* et *conduction*, phénomènes qui, généralement, coexistent mais dont l'importance relative est très différente suivant le cas. Aux températures moyennes de l'air tranquille, rayonnement et convection sont du même ordre de grandeur, tandis que le second phénomène prend une nette prédominance sur le premier dans l'air en mouvement et que le rayonnement s'annule, ou presque, dans le cas d'une surface de métal poli. D'autre part, les échanges de chaleur à l'intérieur d'un solide se font uniquement par conduction. Cette dernière existe également dans les fluides, mais elle se mélange à la convection dont l'effet est généralement prépondérant si ce n'est dans les couches au voisinage immédiat de la surface d'un corps solide, où la conduction intervient forcément pour l'échange de chaleur avec la couche de fluide adhérente à la paroi.

Cette coexistence des phénomènes et leur importance relative doivent être parfaitement étudiées lorsque l'on envisage un cas particulier.

Nous nous sommes longuement attardé aux caractéristiques de *transparence* des matériaux. Nous avons admis que la fraction du rayonnement électromagnétique non-transmise directement (par transparence) était absorbée et, partant, traversait la paroi par conduction. Aux limites de cette paroi, rayonnement et convection interviennent d'une façon caractéristique.

Rayonnement.

Tout corps qui n'est pas parfaitement transparent dans l'ensemble du domaine électromagnétique émet et absorbe continuellement des radiations par sa surface.

L'émission dépend avant tout de la température et de la nature de la surface en question.

Le résultat final de ce double mécanisme d'émission et d'absorption est un échange de chaleur par rayonnement. Il ne faut cependant pas se méprendre sur la signification de ces mots : l'émission n'est pas une émission de chaleur, mais bien de rayonnement qui se « transforme » en chaleur quand il cesse d'exister comme rayonnement.

Pour connaître complètement le faisceau de radiation émis, il ne suffit pas de connaître sa valeur énergétique, mais il faut aussi savoir en quelle quantité y entrent les diverses radiations simples ; en d'autres termes, il faut connaître la courbe spectrale de flux énergétique.

Diverses lois régissent le phénomène : celles de Kirchhoff, de Lambert, de Planck, de Stéfan-Boltzmann et de Wien. Nous y renvoyons le lecteur.

Nous n'insisterons pas davantage sur la valeur du coefficient σ de la loi de Stéfan, coefficient « d'émission », fonction de la nature-même du corps. Dans le cas d'un corps « noir », on admet pour σ une valeur de 5,67 à 5,71. 10^{-5} erg. cm^{-2}. $sec.^{-1}$ $(°C)^{-4}$, suivant les auteurs. L'émission et l'absorption des corps « non noirs » mériteraient une attention toute particulière. En effet, leur facteur d'absorption et celui d'émission prennent une valeur particulière, fonction des propriétés-mêmes de ces corps. Et la relation qui lie ces facteurs d'émission et d'absorption est complexe. Si l'on peut dire qu'un corps absorbe les radiations de même nature que celles qu'il émet, la réciproque n'est pas toujours vraie : un corps n'émet les radiations qu'il absorbe que si ces dernières sont émises également par le corps « noir » à la même température. Nous avons déjà étudié ce phénomène dans les pages qui précèdent et avons caractérisé, autant que faire se pouvait, tant le coefficient global d'émission σ que le coefficient e_λ correspondant à chacune des longueurs d'onde du spectre du corps noir.

Conduction.

La conduction est le phénomène dont l'expression mathématique est le mieux connue. L'*équation fondamentale aux dérivées partielles* possède une expression caractéristique, tant en régime permanent qu'en régime variable. Dans le premier cas, l'état thermique d'un corps (paroi) se représente par une droite, puisque la dérivée seconde de la température par rapport à une coordonnée linéaire est nulle, démontrant que T est fonction linéaire de « x » :

$$\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} = 0 .$$

La conductibilité thermique d'un corps, exprimée en cal g. cm/cm^2. sec. (° C) ou en kcal. $m./m^2$. h. (° C) est aisément définie et est représentée par le coefficient λ.

Convection.

La convection est un transport de chaleur par le mouvement d'un fluide. Suivant le mécanisme qui donne lieu au mouvement, on distingue :

— la *convection naturelle*, dans laquelle le courant est produit unique-

ment par les différences de température qui engendrent à leur tour des différences de densité et partant, des « courants de gravité », et

— la *convection forcée*, lorsque le courant est produit par une cause extérieure, indépendante du phénomène thermique. La convection est donc liée aux mouvements du fluide. Ceux-ci sont caractérisés par divers nombres sans dimensions de signification variée : nombres de Reynolds, de Nusselt, de Prandtl, de Grashof, etc. Nous renvoyons le lecteur à la théorie de la dynamique des fluides. Nous verrons plus loin que, dans le cas qui nous occupe plus particulièrement, c'est la complexité de caractérisation des phénomènes, et leur dynamisme, qui sont cause de la grande difficulté rencontrée dans l'étude expérimentale et surtout dans les essais de généralisation de résultats obtenus expérimentalement...

Transmission complexe.

En réalité, nous ne pouvons envisager séparément chacun des phénomènes étudiés plus haut ; le cheminement de la chaleur d'un fluide vers un autre à travers une paroi est en effet sous la dépendance simultanée de chacun d'eux.

Si la quantité de chaleur échangée entre deux milieux situés de part et d'autre d'une paroi répond à l'expression $Q = k.\ S.\ \theta.\ t$, dans laquelle S est la surface de la paroi, θ, la différence de température entre les deux milieux et t, le temps d'échange, il faut nécessairement que k, coefficient global de passage de la chaleur, ait comme expression :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

dans laquelle α_i et α_e sont les coefficients de transmission de la chaleur au niveau du « changement de phase », c'est-à-dire à la surface du matériau et δ/λ, le rapport de l'épaisseur du matériau à son coefficient de conductibilité (*).

2. — TRAVAUX PERSONNELS.

I. Nous avons essayé de nous rendre compte de *ce qui se passe réellement sous des abris* formés de divers matériaux et tenté de mettre les relevés de température y obtenus en relation avec les formules générales et les caractéristiques des matériaux étudiées dans les chapitres précédents.

(*) Nous avons exposé les points principaux de l'étude de ce phénomène au tome XXV, 1-2, pp. 139-178 du *Bull. Inst. agr. et St. Rech. Gembloux*, 1957.

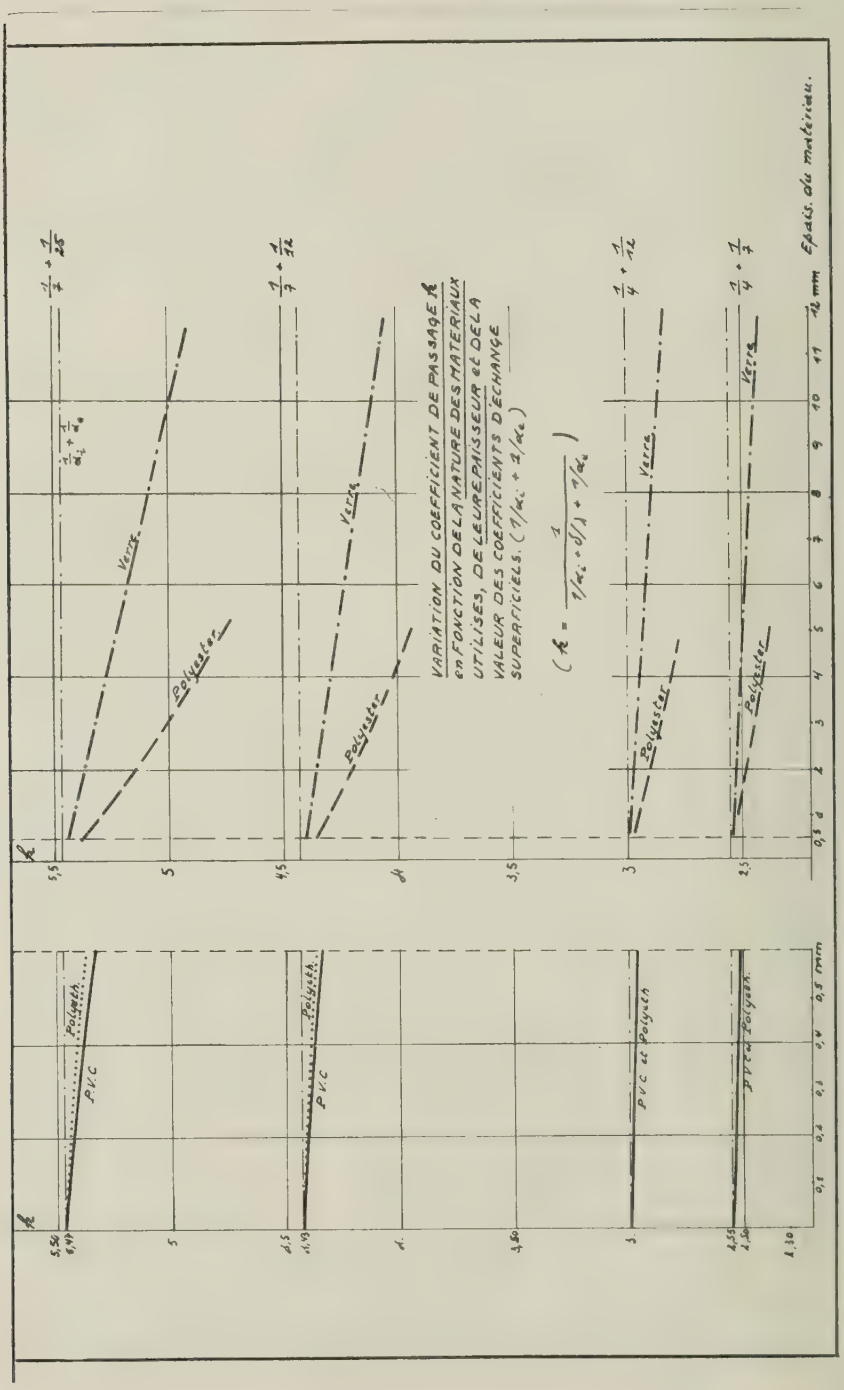
Une étude approfondie des températures relevées sous les enceintes expérimentales au moyen des appareils ordinaires (thermomètre à Hg, à alcool, enregistreurs de température ...), nous a rapidement conduit à douter de l'intérêt de cette méthode pour calculer les flux transmis dans les divers cas, et ce, malgré le fait que ces opérations, échelonnées sur plusieurs années, aient été effectuées avec beaucoup de soin et les appareils très méticuleusement réglés chaque semaine. Nous attribuons cette inexactitude absolue des relevés d'abord au manque de précision des appareils utilisés (ce qui est une règle générale pour ce genre de thermomètre), ensuite à l'influence marquante des courants de convection sous les abris. Ces courants font, en effet, que le moindre déplacement de l'organe sensible des appareils par rapport à la position des mêmes, dans les autres abris, suffit à le situer dans une zône à caractéristiques thermiques différentes, en d'autres mots, dans un isotherme voisin. La présence de végétation dans une série d'abris modifie encore le phénomène. Nous pourrions même ajouter que la position du feuillage de ces végétaux par rapport au thermomètre suffit à influencer les indications données par celui-ci.

Une conclusion tendrait cependant à s'imposer : c'est que les différences de température sous matériaux différents (dans nos travaux : verre, P.V.C. et polyéthylène) sont très faibles, et de l'ordre du degré d'imprécision originel des appareils et de celui dû plus spécialement à la position de ceux-ci dans l'abri.

Une mise en relation avec les résultats obtenus par calcul est donc très malaisée. D'autant plus que la détermination des « α » reste la grande difficulté à l'heure actuelle. En effet, la valeur de ce coefficient est fonction : de la nature et de l'état du fluide baignant la paroi, de sa T° ou de la répartition des diverses T°, de la forme et des dimensions relatives de l'enceinte considérée, de la nature des parois, de l'état de leur surface, de leur T°, etc. Dans le cas d'un calcul d'isolation ou d'installation calorifique, on peut se permettre de choisir arbitrairement des valeurs de α très approximatives, car une erreur de 20 % dans leur détermination n'influence le résultat final que d'environ 2 %. Mais lorsque l'épaisseur du matériau formant la paroi tend vers zéro comme c'est le cas des films plastiques (0,03 à 0,10 mm d'épaisseur courante, au lieu de 20 à 40 cm pour des isolants thermiques), le rapport $\frac{\delta}{\lambda}$ diminue dans des proportions telles que sa valeur devient négligeable devant celles de $\frac{1}{\alpha}$. En conséquence, la connaissance de la valeur exacte de ces α devient primordiale si l'on veut être à même de caractériser avec précision le phénomène de conduction complexe de la chaleur au travers de films plastiques.

Pour s'en convaincre, il suffit de se reporter au tableau (p. 331), dans lequel nous donnons un certain nombre de valeurs du coefficient

Matériaux			$\frac{1}{\frac{1}{\alpha i}+\frac{1}{\alpha e}}$			
Nature	Épaiss.	δ/λ	$\frac{1}{\frac{1}{7}+\frac{1}{25}} \simeq 5{,}47$	$\frac{1}{\frac{1}{7}+\frac{1}{12}} \simeq 4{,}43$	$\frac{1}{\frac{1}{4}+\frac{1}{12}} \simeq 3$	$\frac{1}{\frac{1}{4}+\frac{1}{7}} \simeq 2{,}55$
Verre (λ=0,6 k cal.m^{-2}.h^{-1}. °C)	1. 10^{-3}m.	1/600	k = 5,43	k = 4,39	k = 2,98	k = 2,54
	3. »	1/200	5,42	4,32	2,96	2,52
	6. »	2/200	5,18	4,23	2,91	2,48
	9. »	3/200	5,04	4,14	2,97	2,45
	12. »	4/200	4,93	4,06	2,83	2,42
Polyester stratifié (λ = 0,18 ...)	1. 10^{-3}m.	1/180	5,30	4,31	2,95	2,51
	2. »	2/180	5,15	4,21	2,90	2,48
	3. »	3/180	5,01	4,12	2,86	2,44
	4. »	4/180	4,87	4,03	2,81	2,41
P.V.C. (λ = 0,14 ...)	5. 10^{-5}m.	1/2800	5,46	4,42	2,99	2,54
	10. »	2/2800	5,45	4,41	2,99	2,54
	15. »	3/2800	5,44	4,40	2,98	2,54
	20. »	4/2800	5,40	4,38	2,98	2,53
	30. »	6/2800	5,40	4,38	2,98	2,53
	50. »	10/2800	5,36	4,36	2,97	2,52
Polyéthylène (λ = 0,25 ...)	5. 10^{-5}m.	1/5000	5,45	4,42	2,98	2,54
	10. »	2/5000	5,44	4,42	2,98	2,54
	20. »	4/5000	5,43	4,41	2,97	2,54
	30. »	6/5000	5,42	4,40	2,97	2,54
	50. »	10/5000	5,40	4,38	2,97	2.53


VARIATION DU COEFFICIENT DE PASSAGE k
en FONCTION DE LA NATURE DES MATERIAUX
UTILISES, DE L'EPAISSEUR et DE LA
VALEUR DES COEFFICIENTS D'ECHANGE
SUPERFICIELS.
Verre
Polyester
PVC
Polyeth.
Epais. du materiau.
mm

GRAPH. 9

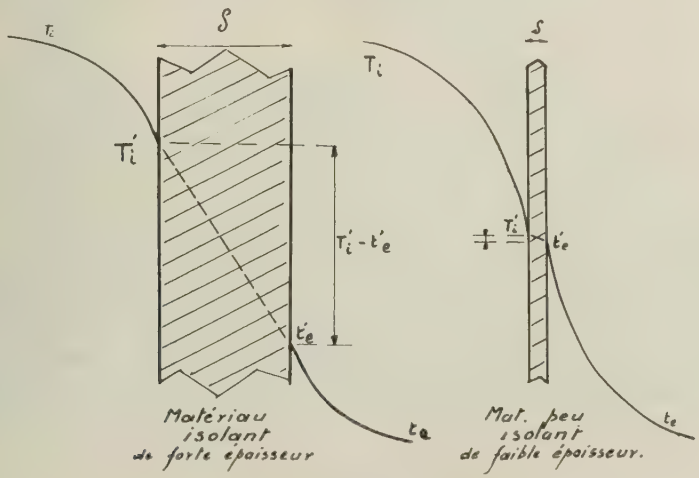
global de passage k, calculées au moyen de la formule générale de transmission de la chaleur au travers d'une paroi, dans le cas de valeurs des coefficients superficiels α_i et α_e prises arbitrairement, ce qui correspond à diverses conditions supposées d'expérimentation, conditions tout aussi arbitraires que les coefficients qui les représentent. Nous avons effectué ces calculs pour divers matériaux d'usage courant, d'après la valeur moyenne admise de leur coefficient de conductibilité thermique λ et pour des épaisseurs croissantes. Dans le graphique n° 9, qui exprime les mêmes résultats, les matériaux utilisés sous-forme de films (moins de 0,5 mm d'épaisseur), ont été extraits du graphique principal et repris à plus grande échelle à gauche de celui-ci.

II. Il est intéressant de se poser une autre question : *la formule générale de passage de la chaleur est-elle applicable au cas des films plastiques*? Est-il normal que de si faibles épaisseurs de matériaux soient cause d'une valeur proportionnellement aussi élevée du coefficient d'isolation thermique dû à l'utilisation de ces matériaux?

Nous croyons avoir démontré que l'on peut répondre par l'affirmative à la question que nous venons de nous poser.

La mesure très précise des températures de surface des matériaux (au moyen de thermocouples sensibles au dixième de degré, et grâce à une technique de travail très rigoureuse), nous a permis de mettre en évidence un certain nombre de faits que nous considérons être des preuves de l'exactitude de l'affirmation ci-dessus.

Il importe, entre autres choses, de noter que la différence de température (de surface) entre faces d'un film plastique est de l'ordre du dixième de degré pour un gradient de 30 à 50° C entre milieux séparés par le-dit film. Cette différence atteint 2-3 dixièmes de ° C dans le cas du verre 3 mm ou des polyesters 1-2 mm. (voir graph. 10).



GRAPH. 10

Ces conclusions sont assez lourdes de sens, car il semble que, du point de vue conduction pure, la nature du matériau utilisé (sous des épaisseurs faibles, de l'ordre du millimètre et moins) ne joue qu'un rôle très secondaire sinon nul. Il ne peut, par conséquent, plus être fait état d'un coefficient d'isolation thermique dix fois plus élevé chez telle matière plastique que chez telle autre, et ce, dans le but de démontrer sa supériorité « thermique », puisqu'aussi bien ces deux films, à 1 ou 2 dixièmes de °C près, jouent exactement le même rôle « isolant » : celui de créer, par leur seule présence, et comme le ferait une vulgaire feuille de papier journal, l'apparition de deux coefficients superficiels qui agissent nettement plus activement qu'eux du point de vue isolation. Dans le cas de matériaux très peu épais, la chute de température due à ceux-ci est donc minime par rapport au phénomène général et c'est plutôt le fluide lui-même qui joue le rôle d'isolant et non pas le matériau.

III. Abordons encore un autre problème : celui de *la vitesse de refroidissement*, après arrêt du chauffage, *d'une enceinte* recouverte de divers matériaux très minces. Nous avons expérimenté sur une enceinte cubique dont la seule face non constituée d'un isolant thermique pouvait être successivement formée des matériaux à étudier ; nous avons de la sorte évalué le temps nécessaire pour qu'une construction (de caractéristiques déterminées) à température donnée, se mette en équilibre thermique avec l'air ambiant. Le calcul nous a conduit à l'expression suivante :

$$t = t_o \cdot e^{-\frac{k \cdot \Omega}{A} x}$$

dans laquelle x est le temps,

t, la température à un moment donné,

t_o, celle au temps zéro,

A, la quantité de chaleur « emmagasinée » par l'air et les parois de l'enceinte expérimentale,

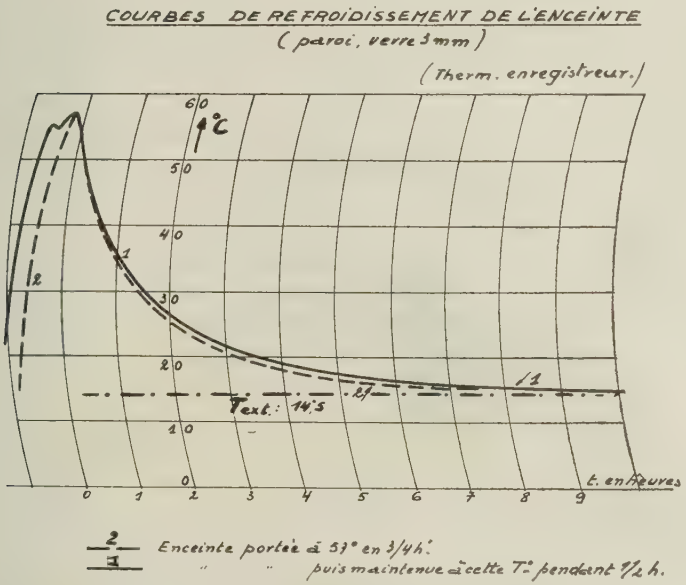
Ω, la surface de la paroi (non isolée) envisagée,

et k, le coefficient global de déperdition de chaleur au niveau de cette paroi de surface Ω.

L'expression de la courbe de refroidissement de l'enceinte est donc une exponentielle.

C'est sous cette forme, d'ailleurs, qu'elle nous est apparue sur les enregistrements d'un thermographe enregistreur (Graph. 11) : refroidissement rapide au début, puis tendant asymptotiquement vers la température de l'air ambiant pour autant que cette dernière soit maintenue constante tout au long de l'expérimentation. Mais au bout de 6 à 8 heures (dans

les conditions de nos essais), la différence de température de l'air à l'intérieur (au centre de gravité de l'enceinte) et à l'extérieur de celle-ci était de l'ordre de la sensibilité des thermomètres ordinaires. Par conséquent, compte non-tenu des différences importantes pouvant apparaître dans la température de l'air en fonction de l'endroit précis où elle est relevée, il apparaît que la situation était la même quel que soit le matériau (de cou-



GRAPH. 11

verture couramment utilisé en horticulture) expérimenté. S'il importe d'être prudent dans une généralisation du phénomène, il n'en est pas moins vrai que tout porte à croire que, lorsque le volant thermique de la construction (ou le rapport de celui-ci à la surface du matériau peu ou pas isolant) n'est pas plus important que celui des enceintes expérimentales utilisées, il est pratiquement impossible d'observer une différence significative entre les conditions thermiques régnant sous enceintes identiques recouvertes de matériaux différents et ce, après une nuit normale d'hiver ou de printemps...

Ici encore, nos conclusions risquent assez de surprendre surtout les horticulteurs qui ont un degré de confiance trop élevé dans l'exactitude et la précision des thermomètres qu'ils utilisent.

IV. Nous voudrions enfin dire quelque mots du *coefficient de conductibilité thermique équivalent* (λ_a) *d'une couche d'air immobilisée dans un double vitrage* (voir note en fin de chapitre).

En substituant aux films plastiques, sur la 6e face de l'enceinte expérimentale décrite plus haut, une double paroi vitrée entre laquelle était enfermée une couche d'air sec d'épaisseur croissante, et en procédant par relevé très précis des températures en de nombreux endroits dans et hors du volume envisagé, nous sommes arrivé à des conclusions dont l'intérêt général nous paraît renforcé encore par l'affirmation de divers auteurs (MM. De Graaf et Van der Held, notamment) (*) qui sont d'avis que la transmission de la chaleur dans des couches d'air verticales ou horizontales est indépendante des dimensions de la couche envisagée, hormis son épaisseur. En d'autres termes, nous croyons à une valeur absolue des résultats obtenus dans les cas assez particuliers de notre expérimentation (enceinte cubique isolée sur 5 faces, de dimensions intérieures de + 30 cm d'arête).

En écrivant l'équation d'équilibre thermique au moyen des températures de surface relevées sur les parois vitrées (à l'extérieur et à l'intérieur des volumes considérés), nous obtenons aisément la valeur du λ_a que nous désirons évaluer :

$$\lambda_a = \delta_a \alpha_e \cdot \frac{t_e - t}{T_i' - t_e'}$$

(T_i' est la température de la surface interne de la paroi vitrée placée vers l'enceinte,

t_e', celle de la surface *interne* et t_e celle de la surface *externe* de la paroi vitrée dirigée vers « l'extérieur » de λ^o moyenne t,

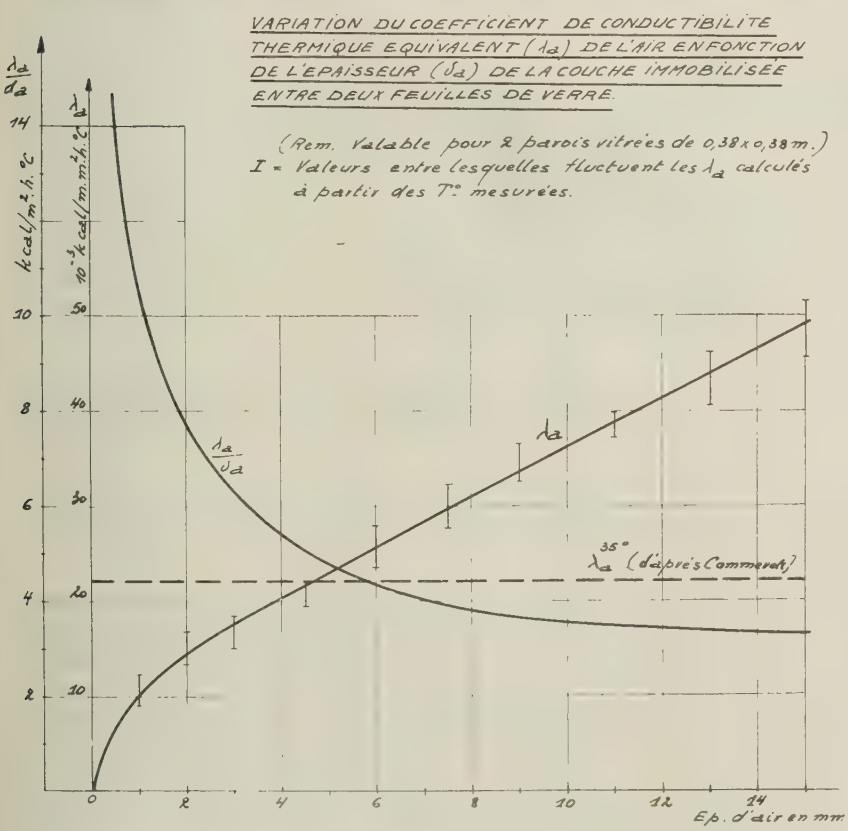
tandis que α_e représente le coefficient superficiel en dehors de l'enceinte mais au niveau de la paroi vitrée, et δ_a l'épaisseur de la couche d'air envisagée).

La seule imprécision de la méthode réside dans l'estimation de la valeur de α_e qui caractérise en fait l'état de turbulence de l'air « extérieur » au niveau du double vitrage. Mais si la valeur de α_e revêt une importance relative capitale dans le cas d'un film plastique, il n'en est pas de même, avons-nous montré précédemment, dans celui d'un matériau aussi isolant qu'un double vitrage. Par conséquent, si l'erreur faite dans l'estimation de α_e ne dépasse pas 20 % (ce que nous croyons pouvoir affirmer), l'incidence de cette imprécision n'est que de l'ordre de 2 à 5 % sur le résultat

(*) De Graaf et Van der Held, *Het verband tussen de warmteovergang en de stromingsverschijnselen in gesloten spouwen*, Éd. Schotanus, Utrecht, 1952.

final, ce qui est acceptable. En conséquence, étant donné les circonstances dans lesquelles sont réalisés ces essais, la méthode utilisée peut être considérée comme rigoureuse, puisqu'aussi bien la source d'erreur ne parvient à influencer le phénomène général que dans des limites assez étroites.

Nous avons reporté au graphique 12 toutes les valeurs de λ_a calculées de la façon exposée ci-dessus, à partir des très nombreuses mesures effectuées dans toutes les conditions possibles de température et de mouvements de l'air dans l'enceinte et en dehors de celle-ci. Nous passons sous silence l'ensemble des détails de cette expérimentation, nous bornant à signaler que les valeurs de λ_a sont portées dans le graphique le long d'un certain nombre de traits verticaux limités, en des points correspondant aux valeurs extrêmes des λ_a enregistrées, par de courts traits horizontaux. Ces valeurs de λ_a sont établies pour des épaisseurs croissantes d'air immobilisé entre deux feuilles de verre (l'épaisseur de l'air étant portée en abcisse).



GRAPH. 12

Nous avons ensuite représenté une valeur moyenne de ce λ_a en fonction de l'épaisseur de la couche d'air δ_a, valeur non pas égale à la moyenne arithmétique des résultats obtenus, mais choisie graphiquement suivant les besoins de l'ensemble du graphique. Dans ces conditions, une allure générale de l'évolution de la valeur de λ_a en fonction de δ_a se dégage très clairement des valeurs calculées.

Sans vouloir affirmer que cette courbe soit exacte à 100 %, nous pensons rester dans les limites du vraisemblable en lui attribuant une valeur d'indication (voir d'ailleurs la remarque ci-dessus).

On observe que, plus l'épaisseur de l'air inclus entre les parois vitrées augmente, plus les valeurs calculées fluctuent et perdent de leur précision. C'est pour cela que nous préférons ne pas tenir compte des mesures effectuées dans le cas où $\delta_a \geqslant 25$ mm.

Ce phénomène est d'ailleurs très aisé à expliquer : les mouvements de l'air, dans le double vitrage, se font plus intenses et plus complexes.

Sur le même graphique 12, nous avons reporté les valeurs de λ_a / δ_a, rapport du coefficient de conductibilité thermique équivalent de l'air pour diverses épaisseurs, aux valeurs de ces mêmes épaisseurs. Remarquons que $\lambda \delta$ peut s'appeler *perméabilité calorifique*. Cette courbe est particulièrement intéressante : après une chute brusque, elle se redresse progressivement et tend asymptotiquement vers une valeur bien définie (dans ce cas, mais variable suivant les conditions d'expérimentation).

Nous croyons que c'est de l'examen de cette courbe que nous pouvons tirer la conclusion la plus importante : dans les conditions de l'essai, la perméabilité calorifique d'une couche d'air diminue progressivement lorsque son épaisseur augmente. Mais elle atteint une valeur voisine de son minimum dès que δ_a dépasse 10 mm. En d'autres termes, le pouvoir isolant de l'air inclus entre deux feuilles de verre augmente rapidement avec son épaisseur et atteint bientôt une valeur maximale et ce, pour des épaisseurs de l'ordre du cm seulement.

Ceci confirme une vue théorique du phénomène que nous avons émise naguère et les valeurs données par les Firmes productrices de « volumes doubles vitrages ».

Si nous désirons comparer les valeurs calculées de λ_a à celle donnée par Cammerer, nous voyons qu'il importe d'abord de ne pas perdre de vue la dilatation calorifique : $\lambda = \lambda_0 (1 + \beta t)$, étant admis que le coefficient de conductibilité réel de l'air à 0° est de 20,4. 10^{-3} kcal. m². h. ° C. Entre 30 et 40° C, nous pouvons admettre la valeur moyenne de 22,4. 10^{-3} k cal./m². h. ° C. Cette estimation n'est exacte, dans notre expérimentation, que lorsque la couche d'air atteint environ 5 mm d'épaisseur ; après quoi, elle est immédiatement dépassée et il est bien certain que les mouvements turbulents qui naissent sans conteste dès que l'épaisseur

est suffisante ne peuvent qu'augmenter la conductibilité sans nous permettre d'espérer que la courbe s'infléchisse de nouveau vers le bas ...

Enfin, en étendant les résultats de nos travaux en laboratoire au cas du *doublage des serres au moyen de films plastiques*, nous pouvons émettre l'opinion que ces derniers, par leur seule présence, peuvent permettre un gain appréciable de chaleur puisqu'aussi bien ils se comportent exactement comme le ferait une seconde feuille de verre posée, à grands frais et au prix de quelles difficultés, à quelque distance de la première. Économie par conséquent sur le prix de revient et facilité de pose, d'autant plus qu'une fois à l'abri des U.-V. (ceux-ci étant interceptés par le verre) et protégés de la destruction mécanique (due au vent), ces matériaux plastiques sont susceptibles de présenter une durée de vie nettement accrue par rapport à celle qu'ils montrent lorsque l'horticulteur tente de les substituer au verre.

Note : Nous avons déjà étudié les variations du pouvoir isolant de l'air inclus dans les doubles vitrages dans un travail précédent, publié dans le *Bull. Inst. Agr. et Stat. Rech. Gembloux*, tome XXV, n° 1-2, 1957, pp. 168 à 172 notamment. La lecture de ces quelques pages est susceptible de faciliter la compréhension de ce qui précède et de replacer ce travail dans son contexte, ce que nous croyons utile...

CHAPITRE VIII

RÉSULTAT DE QUELQUES ESSAIS CULTURAUX

A côté de nos travaux en laboratoire, nous avons voulu effectuer quelques *recherches pratiques* de façon à vérifier autant que faire se pouvait, l'exactitude de certaines des conclusions auxquelles nous étions arrivé.

Nous avons surtout veillé à ne pas refaire en pure perte des travaux déjà effectués par d'autres chercheurs. C'est pourquoi nous avons orienté nos efforts tout particulièrement vers les *polyesters stratifiés* : aucune expérimentation n'avait jusqu'alors tenté de déterminer leur valeur « horticole » et les quelques essais d'orientation que nous avions effectués (*) nous permettaient d'augurer favorablement de l'avenir.

En conséquence, nous avons créé une a.s.b.l., le « Centre d'Essais des Polyesters stratifiés en Horticulture » (C.E.P.E.H.), subsidiée, entièrement, par des Firmes privées belges et étrangères (*Moniteur belge* du 2 février 1958). Nous ne pouvons malheureusement faire état dans ce travail des résultats que nous avons obtenus jusqu'à ce jour, ceux-ci étant la propriété morale des Firmes intéressées. Bornons-nous à signaler que, à l'heure actuelle, nos espoirs n'ont pas été déçus et que certaines différences de comportement sont observables d'un matériau à l'autre.

D'autre part, nous avons tenté d'élargir le champ d'investigation courant et de déterminer non plus simplement des différences de rendement des végétaux cultivés sous matériaux divers mais des différences dans la *qualité*. Nous avons donc effectué certaines déterminations de la richesse en sucre, en vitamine et du pH des produits récoltés. Nous nous bornerons à citer plus spécialement nos travaux concernant :

LA RICHESSE DES FRAISES EN VITAMINE C ET LEUR pH

Nous avons pu disposer de parcelles de fraisiers bien établis. Nous les avons recouverts de divers plastiques et avons choisi deux types de témoins : le verre et le « plein air ».

Méthode utilisée.

Les plants de Fraisier étant en place, il nous a suffi de les recouvrir des divers matériaux à l'époque normale de pose des cloches de forçage. Une exception fut faite : pour le polyester et les témoins-verres, qui furent posés plus tardivement.

Les films plastiques sont généralement placés au cours de la végétation mais enlevés avant la maturité des fruits. Nous avons suivi cette

(*) *Bull. Inst. agron. Stat. Rech. Gembloux*, XXVI, 1-4, 1958, pp. 117-134.

règle. Nous avons, dès après la floraison, recouvert une autre parcelle de verre et de polyester stratifié. Ces matériaux furent, eux, laissés jusqu'après la récolte.

De façon à essayer d'éliminer l'influence de la température (basse) du printemps,et celle de l'insolation, nous avons répété la même opération au début du mois d'août, sur des variétés de fraisiers remontants. Nous avons, dans ce cas, laissé les matériaux en place jusque la dernière récolte.

Au cours du forçage printanier, les variétés « Surprise des Halles » et « Triomphe de Tihange » furent choisies ; les variétés remontantes couvertes des divers matériaux furent « Sans rivale » et « Triomphe ».

Récolte.

La récolte fut effectuée de façon à n'utiliser, pour les mesures, que des fruits mûrs et de coloration approximativement identique.

Nous avons essayé de pouvoir disposer chaque fois d'échantillons de 3/4 kg au moins.

Échantillons.

Ceux-ci, une fois récoltés au champ, furent placés en frigo, à 4° C, pendant 2 jours dans la première série d'essais, et conservés pendant 8 jours en ultra-congélation (— 40° C) en ce qui concerne la série automnale. Ceci à cause du fait qu'il ne nous était pas possible d'effectuer les mesures le jour-même de la récolte ou le lendemain. Mais, dans chaque série, la précaution a été prise de traiter tous les échantillons correspondants de façon identique.

Au moment de la détermination de la concentration en vitamine C, les échantillons furent passés au « turmix » ; le produit obtenu fut alors filtré et 5cc de jus, représentant la moyenne de l'échantillon, furent utilisés pour la mesure proprement-dite.

Mesures effectuées.

1. La détermination de la teneur en vitamine C des fraises s'est effectuée par *polarographie*, ou électrolyse à potentiel variable. Le principe de la méthode est le suivant : lorsque le potentiel d'oxydation ou de réduction de la substance à analyser est atteint, on observe la production d'une onde polarographique dont le courant de diffusion est proportionnel à la concentration de la substance.

Dans le cas de la vitamine C, on opère par oxydation de l'acide ascorbique en acide déhydroascorbique, entre les potentiels de +0,3 v. à —0,1 v.

L'onde polarographique est caractérisée par le « potentiel de demi-onde » ou « de demi-saut » (cf. travaux de MM. Martens et Nangniot, Chaire de Chimie Analytique, Institut Agronomique, Gembloux).

C'est ce potentiel que l'on mesure en prenant la moitié de la hauteur du saut polarographique. La hauteur du saut permet de déterminer la

richesse en vitamine C du jus par rapport à une droite de référence tracée au préalable.

2. Le pH fut, lui, mesuré par la méthode ordinaire (pH.-mètre) et exprimé en fonction de l'échelle 1 à 14. Cette détermination classique ne présente aucune difficulté, et fut opérée sur le jus dont 5cc avaient été prélevés pour l'analyse de la richesse en vitamine C.

Résultats obtenus.

Il est intéressant d'analyser les deux tableaux ci-dessous. Bien qu'incomplets et démontrant la nécessité d'une nouvelle extension des essais, les résultats y annotés peuvent avoir la valeur d'une indication.

Détermination	Vitamine C (*) (multiplié par 7,225 = concent. en mg/litre)						pH.					
	Surprise des Halles			Tr. de Tihange			Surprise des Halles			Tr. de Tihange		
Variété												
Date de réc. : juin 1958	14	21	28	14	21	28	14	21	28	14	21	28
Matériaux :												
Verre (laissé jusqu'à maturité)	51	57	67		53	44,5	3,4	3,3	3,3		3,7	3,6
Polyester (laissé jusqu'à maturité)	49	47	50		56	45,5	3,4	3,5	3,3		3,7	3,6
Plein air (laissé jusqu'à maturité)	54	60.5	60		52	50	3,2	3,15	3,2		3,5	3,6
fraises non mûres												
Polyéthylène (jusqu'à début de maturité	60	—	—		—	—	3,15	—	—		—	—
Verre (jusqu'à début de maturité)	53	—			—	—	3,15	—				

(*) Voir note page suivante.

NOTE. — Les valeurs données pour la vitamine C sont celles, exprimées en mm, de la hauteur du saut polarographique ; elles parlent plus aisément à l'esprit que celles de la teneur réelle par litre de jus. Pour obtenir ces dernières, il suffit de multiplier les premières par un facteur moyen que nous estimons à 7,2248, d'après la courbe d'étalonnage de l'appareil.

DÉTERMINATION	Vitamine C } × 7,225 = en mg/l. jus				pH.			
VARIÉTÉ	Sans rivale		Triomphe		Sans rivale		Triomphe	
DATE de récolte : sept. 1958	5	11	5	11	5	11	5	11
Matériaux								
Verre	45	41	50	—	3,30	3,4	3,5	—
Polyéthylène	48	39	54,5	33,3	3,15	3,35	3,5	3,65
P.V.C.	51	51	54	—	3,2	3,2	3,5	—
Nylon	47	—	54	—	3,1	—	3,5	—
Rilsan	45,5	—	49	—	32	—	3,55	—
Polyester	55	40	43	37,5	3,25	3,5	3,50	3,6
Plein air	44	—	46	—	3,2	—	3,5	—

DISCUSSION.

1) Au printemps, alors que l'on peut considérer le facteur lumière comme limitatif, les fruits mûris à l'extérieur (surtout si les plantes ont été protégées, au début de la croissance, contre les basses températures, par un matériau transparent) sont généralement plus riches en vitamine C (ou alors la différence est minime...), mais de pH plus bas que sous n'importe quelle couverture.

2) A la même époque, les différences attribuées à la lumière sont plus ou moins nettes suivant les variétés. C'est ainsi que « Surprise des Halles » semble plus sensible à la lumière que « Triomphe de Tihange ». Cette plus ou moins grande sensibilité à la lumière intensifie ou minimise les écarts entre matériaux de transparence diverse.

3) En automne, étant donné les températures relativement basses qui ont régné dans les premières semaines après la couverture des fraisiers, on peut discerner une tendance à l'amélioration de la valeur du fruit sous les matériaux reconnus comme meilleurs « isolants » (P.V.C., verre, polyester), les fraises « de plein air » étant, comme dans les essais précédents, toujours moins riches en acide ascorbique.

4) Le pH, lui, reste remarquablement constant chez les fraises « remontantes » et paraît peu influencé par la nature de la couverture.

5) *Le polyester*, matériau nettement moins transparent que les films plastiques (ne serait-ce que parce que 20 à 50 fois plus épais qu'eux), et que le verre (à épaisseur égale), *n'accuse certainement pas une faiblesse nette par rapport aux autres couvertures.* Parfois plus riches en vitamine C (ce que nous croyons pouvoir attribuer aux qualités d'isolation thermique du matériau), les fruits protégés par le polyester ne sont, en tout cas, jamais ni constamment, fort inférieurs de qualité à ceux protégés par d'autres matériaux.

Remarque.

Ces essais sur fraisiers ne sont orientés que vers la détermination de la valeur du fruit, en fonction du matériau de couverture.

Autre chose sont la précocité du produit et l'importance de la récolte. Ces deux facteurs, de première importance en culture, ont fait l'objet des travaux de M. Linden, assistant à la Station d'Amélioration de Grand Manil, en ce qui concerne notamment les divers plastiques (le polyester excepté) et le verre. Nous n'avons, par conséquent, pas voulu les effectuer nous-même, d'autant plus que ces travaux sont menés avec maîtrise sur une échelle plus grande que celle à laquelle nous aurions pu les faire.

Conclusions.

Si donc nous ne sommes pas parvenu à mettre en évidence une relation bien nette entre matériaux de couverture et vitamine C (ainsi que pH) des fraises, nous croyons cependant pouvoir conclure que, dans les conditions de nos essais, aucun des matériaux étudiés n'est nettement « moins bon » que les autres à ce point de vue. Dans aucun cas, nous n'avons observé de chiffres constamment inférieurs à ceux donnés par les témoins. Et ceci doit avoir plus qu'une valeur d'indication : le phénomène d'apparition de la vitamine C dans les végétaux n'est pas uniquement fonction de l'intensité lumineuse reçue et de la température à laquelle ils se sont développés. D'autres facteurs interviennent, qui modifient certainement l'action indirecte des matériaux de recouvrement.

En ce qui concerne la richesse en vitamine C des divers végétaux étudiés, nous croyons donc pouvoir affirmer que le rôle du matériau (grande absorption de lumière, coefficient de conductibilité thermique variable, conditions d'humidité spéciales ...) s'il est indéniable, ne paraît pas être déterminant. Des différences peuvent être accusées par des végétaux cultivés (surtout « forcés ») sous divers matériaux (et nous pensons tout particulièrement à la précocité de la récolte -), mais jamais un matériau ne s'est montré très inférieur aux autres ni surtout toujours moins bon que ceux-ci. Un « retournement » possible de l'échelle des valeurs nous conduit à supposer que le rôle d'autres facteurs sur le comportement des végétaux surpasse en importance celui des matériaux proprement dits.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Nous ne pouvons résumer ici les conclusions auxquelles nous sommes arrivé à la suite de l'étude des divers points faisant l'objet des chapitres repris ci-dessus. Nous envisagerons donc le problème sous un angle plus général. Ces quelques lignes nous serviront à la fois de conclusion ... et d'introduction !

De notre longue étude bibliographique (dont nous n'avons d'ailleurs extrait que le résumé d'un seul chapitre (voir chap. I), il ressort que l'on peut admettre la réalité d'un manque de lumière, en Belgique, pour les cultures s'effectuant pendant les quatre mois de novembre à février ; cela signifie pour nous que, *au cours de ces mois d'hiver, toute perte supplémentaire d'intensité lumineuse* (due aux matériaux de couverture utilisés) *doit se traduire directement par une baisse du rendement des végétaux cultivés* à cette époque de l'année (cultures retardées, forçages de première et de seconde saison, cultures assistées, etc.), baisse surtout sensible chez les plantes exigeant une intensité lumineuse relativement élevée.

La diminution du rendement n'est pas toujours très apparente, mais elle semble réelle, si l'on en croit les résultats obtenus en éclairage artificiel. Ce phénomène a comme conséquence immédiate la nécessité pour l'horticulteur de rechercher, pour ses cultures hivernales, parmi tous les matériaux actuellement dans le commerce, celui qui lui donne le plus de garanties à ce point de vue, c'est-à-dire en fait celui dont la transmission de la lumière soit maximum (tout au moins dans la partie U.-V., visible, et I.-R. court du spectre électromagnétique).

Mais comme le phénomène « transmission de la lumière » n'est pas seul en cause, il peut arriver que l'horticulteur se voie obligé de choisir un matériau à plus haut pouvoir d'absorption de la lumière, lorsque, par exemple, celui-ci détermine un bilan calorifique plus avantageux ou que ses propriétés physiques, plus stables, lui assurent une période d'existence plus longue. Et principalement dans le cas des constructions horticoles chauffées, si le prix de vente du combustible continue à s'accroître, il deviendra plus intéressant du point de vue économique de négliger le facteur lumière, pour consacrer toute son attention à la lutte contre les déperditions de chaleur par rayonnement et conduction au travers des matériaux de couverture. Nous avons montré, dans une publication antérieure, l'ordre de grandeur insoupçonné de l'économie de combustible réalisable et la rapidité d'amortissement possible des capitaux supplémentaires engagés dans ce but.

Mais il importe de bien effectuer la distinction entre bâtiments chauffés d'une façon presque ininterrompue et ceux pour lesquels aucun chauffage n'est prévu...

Par conséquent, étant donné, d'une part, l'importance de l'économie réalisée par diminution de la quantité de combustible utilisée et, d'autre part, la simplicité de montage et le prix d'achat abordable de certaines lampes qui donnent de bons résultats culturaux, on en arriverait tout naturellement à ne plus se baser que sur le *bilan calorifique* pour déterminer la nature du matériau de couverture, et à envisager l'éclairage d'appoint comme logique et ... rentable... !

D'autre part, il semble que l'horticulteur et surtout le fabricant aient cru pouvoir attribuer aux matières plastiques des propriétés qu'elles ne possèdent pas, mais que, par contre, ils n'utilisent pas au maximum d'autres propriétés tout aussi intéressantes, sinon davantage ; l'un et l'autre n'ont pas apprécié avec exactitude la valeur relative de l'une et l'autre propriété.

Limiter les applications du plastique à celles qui se sont réellement montrées intéressantes, loin de freiner l'extension dans ces matières nouvelles en horticulture, permettrait au contraire d'en tirer un profit maximum, d'éviter toute déception et, partant, déterminerait une diffusion stable, celle-ci, et une expansion chaque jour accrue.

Si, dans certains cas (celui des amateurs, principalement), les films permettent un forçage « bon marché » de certains légumes, dans d'autres cas pareille utilisation risque de conduire à des déboires relativement graves. En association avec le verre, ils permettent d'obtenir, à très peu de frais, une amélioration très sensible de l'isolation des abris vitrés, tout en n'exerçant sur la quantité de lumière arrivant aux plantes qu'une influence restrictive bien minime ; mais ils peuvent modifier l'hygrométrie et, de ce fait, agir tantôt en bien, tantôt en mal ...

Remarque.

Nous insistons sur le fait que le présent travail n'a pas de but pratique immédiat et que, d'autre part, ce n'est que lorsque tous les facteurs susceptibles d'action auront été étudiés d'une façon approfondie que nous pourrons faire un réel tour d'horizon et tirer des conclusions valables.

***

Nous avons eu l'occasion d'étudier les courbes de transmission spectrale des matériaux susceptibles d'utilisation en construction horticole. Nous avons montré que l'on exigeait d'eux une transparence maximale aux radiations « incidentes », une opacité maximale au rayonnement du corps noir (ceci pour le « rayonnement ») et un coefficient de conductibilité thermique aussi faible que possible (pour ce qui concerne la chaleur perdue par conduction). Nous ne reviendrons pas sur ces données de laboratoire, mais voudrions voir si les critères de classification des matériaux,

établis au cours de ce travail, c'est-à-dire en n'envisageant que le seul facteur « rayonnement », sont d'application plus générale.

Pour cela, nous devons élargir notre champ d'investigation et prendre notamment en considération les conditions particulières d'humidité et de richesse en CO^2 de l'enceinte recouverte par les matériaux envisagés.

A. — Humidité (et CO^2) et perte de lumière par absorption

Reportons-nous aux diverses courbes d'absorption de la lumière (0,3 à 35 μ) établies par M. J. Lecomte, dans son ouvrage *Le rayonnement Infrarouge* (Paris, 1948). Nous y remarquons que si, dans la région du visible et du très proche I.-R., des couches notables de vapeur d'eau (1 m.) sont requises pour obtenir une absorption sensible, il suffit par contre d'épaisseurs toujours décroissantes de cette vapeur d'eau pour obtenir un effet plus net pour $\lambda \geqslant 5\ \mu$ (20-30 cm pour $5 \leqslant \lambda \leqslant 8\ \mu$) ; après une région de transparence assez grande pour $8 \leqslant \lambda \leqslant 11\ \mu$, l'absorption par la vapeur d'eau croît régulièrement pour atteindre des valeurs très élevées, au point que pour $17 \leqslant \lambda \leqslant 20\ \mu$, quelques cm suffisent pour obtenir des indentations nettes dans le spectre de transmission, et enfin, qu'au-delà de $\lambda = 20\ \mu$, la faible teneur en eau de l'air des laboratoires conduise à l'apparition de zones d'opacité par le simple parcours des rayons dans le spectromètre. C'est dire si les critères de valeur établis théoriquement ci-dessus doivent être maintenant révisés en fonction du degré hygrométrique de l'air des enceintes étudiées.

Ajoutons qu'à la surface de nombreux matériaux se produit une *condensation* plus ou moins intense et observons que l'eau sous forme liquide est un des corps les plus opaques à l'I.-R. (une fraction de mm. d'épaisseur absorbe l'entièreté du spectre), alors que sa transparence dans le visible est encore excellente sous plusieurs dm d'épaisseur. La « fenêtre » laissée par la vapeur d'eau au rayonnement du corps noir (entre pour $8 \leqslant \lambda \leqslant 13\ \mu$ principalement) semble donc « bouchée » rapidement dès qu'une condensation digne de ce nom apparaît à la face inférieure des matériaux.

Tenons également compte de l'action du CO^2, vraisemblablement plus concentré sous enceinte hermétiquement close, action surtout sensible pour $13 \leqslant \lambda \leqslant 17\ \mu$, et nous verrons que dans bien des cas la transparence des matériaux au rayonnement diminue fortement DÈS QUE LA CONCENTRATION EN VAPEUR D'EAU EST VOISINE DE LA SATURATION et dès qu'une CONDENSATION EST VISIBLE SUR LE MATÉRIAU. Cette conclusion réduit fortement, semble-t-il, les écarts de valeur des divers matériaux au point de vue « résistance » au rayonnement. La totalité, ou presque, de la chaleur rayonnée par le sol est absorbée soit dans l'enceinte, soit au niveau du matériau ; le pouvoir isolant de celui-ci est donc, dans beaucoup de cas,

davantage fonction de son coefficient de conductibilité calorifique ; et encore, l'influence de celui-ci doit-elle être estimée à sa juste valeur ainsi que nous l'avons démontré au chapitre concernant « la chaleur ».

Cela signifie-t-il que le critère « perméabilité au rayonnement de $5 \leqslant \lambda \leqslant 35\ \mu$ » perde de son intérêt ? Nous ne le croyons pas. En effet, en ce qui concerne la vapeur d'eau, nous pensons que, aux températures voisines de 0° C, là justement où le rayonnement joue son rôle déterminant (gelées de printemps), la quantité absolue de vapeur d'eau, même pour des degrés hygrométriques élevés, reste inférieure à celle nécessaire pour une absorption totale du rayonnement. Mais il serait prématuré d'anticiper : nos connaissances actuelles du facteur « eau » sous les enceintes recouvertes de divers matériaux ne nous permettent pas de conclure encore. D'autre part, l'absorption par la vapeur d'eau et l'eau de condensation est avant tout fonction de la concentration de la première et de l'épaisseur de la seconde : l'une et l'autre varient à tout instant et il est également utile de rapporter l'absorption supposée aux intensités relatives d'émission d'un corps noir aux diverses longueurs d'onde : la « fenêtre » de 8 à 13 μ, dont nous avons parlé maintes fois, correspond, coïncidence, au maximum d'intensité de rayonnement σT^4 pour T = 300° K.

C'est la présence de cette fenêtre comme d'ailleurs d'une zone de transparence trop élevée de certains matériaux au rayonnement « nocturne » qui est la cause traditionnellement admise de la possibilité d'apparition d'une gélée blanche sous ces matériaux alors que le thermomètre ne descend pas sous zéro dans les enceintes recouvertes d'un vitrage. Nous ne confirmerons ni n'infirmerons cette opinion car les mesures que nous avons effectuées jusqu'ici, « en plein champ » nous ont montré :

a) que les conditions d'humidité jouent un rôle déterminant dans ce phénomène (or leur étude sort du cadre du présent travail) ;

b) que la température des organes des végétaux est souvent différente de celle de l'air et que ses fluctuations sont encore mal précisées ;

c) que les conditions de végétation antérieures déterminent une plus ou moins grande sensibilité des plantes à une chute momentanée sous zéro de la température de l'air.

B. — **Humidité et pertes de lumière par réflexion**

Nous avons eu l'occasion d'étudier en détail les conséquences de l'utilisation d'un matériau d'indice de réfraction plus ou moins élevé : plus la valeur de son indice est grande, plus les pertes par réflexion au niveau des faces du matériau sont importantes : la fig. 28, p. 309, met le phénomène très clairement en évidence.

A ce niveau aussi, l'influence des conditions d'humidité de l'enceinte recouverte est très nette. Une condensation à la face inférieure des matériaux ou une pellicule d'eau de pluie immobile ou en mouvement sur la face supérieure peuvent diminuer sensiblement les pertes de lumière *par réflexion*, comme nous allons le montrer.

Ces observations concernent le rayonnement solaire incident que nous avons démontré ci-dessus être susceptible de traverser une couche mince d'eau liquide sans absorption sensible.

Cas 1 : *Condensation à la face inférieure d'un vitrage.*

— Indice verre/air : 1,5 D'où $R_{\perp} = 0{,}0400$
Pertes : 4 % de I
(si nous posons que I est l'intensité lumineuse incidente).

— Indice verre/eau : $\frac{1{,}5}{1{,}3} = 1{,}15$ $\quad R_{\perp} = 0{,}0049$
Pertes : 0,49 % de I', c.-à-d. de 96 % de I = 0,45 % de I.

— Indice eau/air : 1,3 $\quad R_{\perp} = 0{,}0170$
Pertes : 1,7 % de I'', c.-à-d. de 95,5 % de I = 1,6 % de I.

Pertes totales par réflexion $\simeq$ 6 % de I.

Cas 2 : *Film d'eau à la face supérieure du verre* :

Pertes : 1,7 % de I + 0,49 % de I' + 4 % de I''.

Pertes totales par réflexion $\simeq$ 6,1 % de I.

Cas 3 : *Film d'eau sur les 2 faces du verre* :

Pertes : 1,7 % de I + 0,49 % de I' + 0,49 % de I + 1,7 % de I'''.

Pertes totales par réflexion $\simeq$ 4,1 % de I.

Alors que, si le verre avait été sec, il eût perdu $\simeq$ 8 % de I.

Ce qui montre que, à incidence normale, les pertes par réflexion au niveau du matériau sont réduites de 2 % environ si une des faces de celui-ci est recouverte d'une pellicule d'eau, et de 4 % environ, si les deux faces du matériau sont humides.

Nous bornerons là cette étude destinée à élargir le sujet que nous nous sommes initialement proposé de traiter. Elle met en évidence la nécessité d'étudier l'ensemble du problème avant de conclure quant à la valeur réelle des matériaux. Elle nous permet aussi de découvrir d'autres sources de perte ou de gain de lumière dans le bilan que nous voulons établir sous

enceinte, en nous plaçant au niveau des végétaux. Enfin, nous avons cru nécessaire de replacer notre travail dans son cadre réel, de permettre au lecteur d'accorder à nos conclusions l'importance absolue qui leur revient.

*
* *

REMERCIEMENTS

Il ne nous est pas possible de remercier, nommément, toutes les personnes qui, directement ou indirectement, nous ont donné leur appui. Un travail qui aborde autant de sujets divers ne peut être réalisé avec quelque chance de succès qu'en collaboration plus ou moins étroite avec les spécialistes de chacune des questions étudiées.

Nous voudrions tout d'abord que Monsieur le Professeur BLANJEAN trouve ici l'expression de notre vive reconnaissance ; tout au long de l'élaboration de ce travail, il nous a apporté son aide éclairée et ses conseils patients et de toute première valeur. Il a été pour nous le guide idéal, ce dont nous nous permettons de le remercier très chaleureusement.

A MM. les Professeurs ANSIAUX, COPPENS, CORIN, HENNAUX, LECRENIER, MARTENS, NOIRFALISE et WILLAM va également l'expression de notre gratitude pour l'amabilité avec laquelle ils ont bien voulu nous conseiller, nous diriger et nous permettre la libre utilisation du matériel et de l'appareillage de leur laboratoire. Nous profitons encore de l'occasion pour présenter à MM. DONY, GOETHALS, LECOMTE, NANGNIOT, THONNARD et VAN DER MOLEN nos vifs remerciements pour l'aide qu'ils nous ont apportée.

Nous nous faisons également un plaisir de remercier très vivement MM. les Professeurs DUYCKAERTS et D'OR, de l'Université de Liège, qui nous ont donné toute facilité pour effectuer les mesures aux spectrophotomètres I.-R. de leur service, grâce à la bienveillante collaboration de leur assistante, M^me^ JONES, et de leur Chef de Travaux, M. TARTE.

Notre reconnaissance est encore acquise à MM. DE COSTER et ESCARMEL, du Centre d'Étude des Tuyauteries à vapeur, pour les nombreux dépouillements et dessins qu'ils ont bien voulu effectuer pour nous avec leur amabilité coutumière et leur patience inlassable.

Enfin, nous tenons à ne pas passer sous silence l'aide bienveillante que nous avons trouvée chez diverses Firmes privées, principalement auprès du Directeur Technique de la S.A. GLAVER, des Ingénieurs des Sociétés Solvay, Sophina et Univerbel, et chez d'autres membres de notre Centre d'Essais des Polyesters stratifiés en Horticulture, ainsi qu'auprès de diverses personnalités d'une dizaine de Sociétés traitant les matières plastiques, en Belgique et à l'étranger...

N. A.

Table des Matières

Chapitre I. — Rôle physiologique des diverses radiations
Résumé de l'étude bibliographique effectuée.

1. *Rôle de l'Ultra-violet.* . . . . T. XXVII, N° 2 : 222
2. *Rôle de l'Infra-rouge* 227
3. *Rôle du visible* 229
   1) sur la Photosynthèse 230
      A. Point de vue qualitatif 230
      Conclusions 241
      B. Point de vue quantitatif 242
   2) sur l'apparition de la Vitamine C 243
   3) sur la Croissance 245
   4) sur le Développement 246
   5) sur la Morphogénèse 248
   6) sur la Coloration des organes. 249
   Conclusions concernant le rôle du visible . . . 250
4. *Résumé et conclusions* 253
5. *Bibliographie.* 254

(Voir le numéro précédent du *Bulletin*, pp. 222-256).

Chapitre II. — Cheminement de la lumière au travers des verres martelés . . . T. XXVII, N° 3 : 257

1. *Généralités* 257
2. 1er *Cas : face martelée dirigée vers « le bas »* 258
   a) Cheminement de la lumière 258
   b) Variation du pouvoir réflecteur 263
      1. Influence de l'angle d'incidence 263
      2. Influence des dimensions « onde » - verre . . 264
      3. Influence de la nature de l'« onde » . . . 265
   c) Généralisation 267
      A. — A deux dimensions 267
      B. — A trois dimensions 269
   d) Autre « martelage » 272
   e) Conséquences pratiques de l'emploi de verre martelé 273
   f) Vérification expérimentale du calcul 276
3. 2e *Cas : face martelée dirigée vers « le haut »* 277
   4. *Conclusion* 279

Chapitre III. — Spectres de transmission des matériaux . . 280
1. *Mesures effectuées* 280
2. *Appareils utilisés* 281
3. *Résultats obtenus* 282
4. *Comparaison des matériaux entre eux* 286
5. *Valeur réelle des matériaux* 291
1. Zône d'émission solaire 291
Conclusion 291
2. Zône d'émission du corps noir (300° K) . . . 286
Conclusion 298
6. *Évaluation théorique des T° sous les divers matériaux* . . 299

Chapitre IV. — Indice de réfraction des Matériaux . . . 302
1. *Indice* n_D, *dispersion et constante d'Abbe* 302
2. *Facteur spectral de réflexion de quelques matériaux* . . 303
A. Spécification des échantillons 304
B. Méthode de travail 304
Remarque concernant polyéthylène et polyester . 305
Conclusions. 307
Note 307
3. *Applications. — Conséquences des valeurs de* n_D . . . 308

Chapitre V. — Étude des Matériaux diffusants 312
A. *Matériaux diffusants à l'état frais* 312
B. *Matériaux diffusants après vieillissement* 315
1. Vieillissement des films 315
Aspect macroscopique 316
Pouvoir diffusant 316
Spectre d'absorption 317
2. Vieillissement des polyesters stratifiés 320
Vieillissement accéléré 321

Chapitre VI. — Transparence des Matériaux colorés . . 323
Généralités 323
Étude des polyéthylènes colorés 325

Chapitre VII. — Étude de la Chaleur 327
1. *Généralités* 327
Rayonnement 327
Conduction 328
Convection 328
Transmission complexe de la chaleur 329

2. *Travaux personnels* 329
I. T° sous abris (serres, couches, etc.). Prévision de ces températures (par calcul) 329
II. Peut-on utiliser la formule générale dans le cas des films plastiques? 333
III. Vitesse de refroidissement d'une enceinte . . 334
IV. Conductibilité équivalente de la couche d'air emprisonnée dans les doubles vitrages 336

Chapitre VIII. — RÉSULTATS DE QUELQUES ESSAIS CULTURAUX . 340
Vitamine C et pH de fraises 340
Conclusions 344

Conclusions générales 345
Humidité et pertes de lumière par absorption 347
Humidité et pertes de lumière par réflexion 348

REMERCIEMENTS 350

STATION LAITIÈRE DE L'ÉTAT À GEMBLOUX
et
COMITÉ POUR L'ÉTUDE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU LAIT
ET DE SES DÉRIVÉS (I. R. S. I. A.)

Intérêt pratique que présentent le test A.N.P., le test de la catalase et le test du diacétyle comme moyens d'apprécier la qualité du beurre (*)

par E. Piraux et E. Hôte-Baudart.

Ce travail a été effectué à la Station laitière dans le cadre de l'activité du Comité pour l'Étude Scientifique et Technique du Lait et de ses Dérivés, subsidié par l'I. R. S. I. A.

Nous nous proposions de rechercher un minimum de tests permettant d'apprécier l'action des principaux facteurs qui interviennent pour déterminer le goût du beurre : qualité de la matière première, degré de fraîcheur de celle-ci, absence d'altération par oxydation, caractère favorable de la fermentation des crèmes, soins apportés au travail pour éviter la réinfection, exécution parfaite des diverses techniques de fabrication, etc.

Nous devions confronter les résultats de ces tests avec les résultats de l'expertise organoleptique et voir si, dans le cas de résultats défavorables, nous avions suffisamment de renseignements pour supputer les causes d'échecs et conseiller la laiterie à bon escient.

Dans une publication antérieure, nous avons déjà tiré des premières constatations de ce travail, des indications quant à l'interprétation des tests d'oxydation du beurre frais (1).

Dans le présent travail, nous tenterons surtout de souligner l'intérêt que présentent trois des tests employés lorsqu'il est question de chercher une confirmation des résultats de l'expertise organoleptique : le test A. N. P., le test de la catalase et le test du diacétyle.

Il s'agit simplement ici d'une étude préliminaire des données obtenues au cours d'une première phase du travail : nous ne pouvons donc qu'indi-

(*) Déposé à la rédaction, le 17 juillet 1959.

quer des tendances que nous chercherons ultérieurement à confirmer par une étude méthodique des corrélations.

Indications fournies par les trois tests.

Le test A. N. P., est un test sommaire permettant de juger de la dégradation éventuelle de la matière grasse par voie biologique, donc par hydrolyse. L'idéal, à cet égard, aurait été peut-être d'effectuer le test W. I. A. (water insoluble acids). Vu les nécessités d'un travail rapide et en séries, nous avons choisi le test A. N. P. (alpha-naphtolphtaléine test) (2) qui donne des indications comparables tout en étant d'exécution plus facile. Généralement, les crèmes fermières donneront à ce test des chiffres plus élevés que les crèmes fraîches. Dans les beurres faits de crèmes fraîches, des chiffres élevés indiqueront plutôt une altération dans le beurre lui-même.

Le test de la *catalase* permet de juger de la présence d'une flore susceptible de provoquer des altérations.

Cette recherche pourrait s'effectuer sous forme d'un examen microbiologique orienté vers le dépistage des levures, des moisissures, des germes caséolytiques, des germes lipolytiques, et il n'est pas exclu que nous ne revenions finalement à ce mode d'examen plus complet et plus sélectif. Au cours de la première phase du travail, nous nous sommes contentés du test de la catalase, basé sur le fait que seule la flore hétérogène (non lactique) est susceptible de donner de la catalase.

Tous ces tests d'ailleurs, aussi bien la catalase que les méthodes microbiologiques, ne sont pas suffisamment qualitatifs, en ce sens qu'ils ne permettent pas sans recherches ultérieures, de juger de l'aptitude de la flore étrangère à altérer rapidement la matière grasse ou les éléments du non-beurre.

Le test du *diacétyle* permet de juger de l'arôme du beurre et est, à ce titre, du moins pour des experts d'Europe Occidentale, un critère important de la qualité. La teneur en diacétyle reflète d'ailleurs le caractère favorable de la fermentation des crèmes et est peut-être ainsi en corrélation avec d'autres éléments indéterminés qui interviennent dans le goût du beurre.

Exécution du travail.

La confrontation s'est opérée pendant vingt et un mois sur tous les beurres figurant aux expertises de l'Office National du Lait et de ses Dérivés, soit six expertises portant sur 210 ou 220 échantillons par mois. Lors du prélèvement des échantillons destinés à l'expertise, un échantillon de 400 grs. du même lot de beurre était prélevé et envoyé directement à Gembloux.

Le prélèvement en question était fait par les soins des agents de l'Office National du Lait et nous tenons à remercier vivement le personnel de l'Office du Lait et en particulier son Directeur, Monsieur DEVRIENDT, pour l'aide qu'il nous a apportée dans l'exécution de ce travail.

L'échantillon était conservé à la Station laitière dans les mêmes conditions que l'échantillon destiné à l'expertise (soit pendant 8 jours à 13° C) et ce n'est qu'après cette épreuve de conservation qu'étaient effectués les examens de laboratoire. Ceux-ci étaient donc faits sur un beurre de même âge et conservé dans les mêmes conditions que le beurre d'expertise.

Modalités d'exécution des tests.

Le test *A. N. P.* a été déterminé suivant la méthode de Armstrong T. V. et Harper W. J. (2).

Le test de la *catalase* a été déterminé selon la méthode de Loftus-Hills G., Sharp L. R. et Bellair T. S. (3).

Le dosage du *diacétyle* a été fait selon une méthode mixte comprenant un entraînement à la vapeur d'eau comme le préconisent Pien, Baisse et Martin (4) ainsi qu'une caractérisation du diacétyle et son dosage suivant la méthode de Prill et Hammer (5).

Discussion des résultats.

Si nous jetons un coup d'œil sur la bibliographie, nous constatons que de tout temps on a attribué, dans la détermination de la qualité du beurre, une grande importance à l'aspect microbiologique du problème et comme il y a une corrélation assez accusée entre l'indice de catalase et la teneur du beurre en espèces microbiennes diverses suceptibles d'altérer sa qualité (6), la plupart des expérimentateurs ont trouvé un rapport assez étroit entre la qualité du beurre et l indice en question (6-7-8-9).

D'un autre côté, Pette (10) a eu l'occasion de mettre en relief le grand rôle que joue en Hollande la teneur en diacétyle comme facteur déterminant de l'appréciation des experts.

Enfin, les spécialistes américains considèrent souvent que le degré d'hydrolyse de la matière grasse permet de juger de la qualité de la crème (2-11).

Il peut sembler, à première vue, étrange que nous ne tentions pas de disséquer l'action respective des trois facteurs auxquels ces divers tests se rapportent. C'est chose en réalité très difficile.

La teneur en diacétyle n'exerce pas un rôle aussi déterminant dans une matière première déjà altérée que dans une matière première toute fraîche. Autant dire que cette action dépend étroitement de la valeur fournie par le test A. N. P.

L'arôme est également d'autant plus fin qu'il n'est pas contrarié par des produits de fermentations hétérogènes : dégradation des protéines, fermentations provoquées par des levures, etc. Il faut donc tenir compte du degré de pureté de la flore du beurre exprimé ici par l'indice de catalase.

Enfin, il importe de noter que la catalase a une signification quantitative, mais malheureusement pas qualitative. Elle indique la présence d'une flore hétérogène, mais naturellement ne peut déterminer l'action que cette flore est susceptible d'exercer sur la qualité du beurre.

On peut cependant en interprétant simultanément les données fournies par le test de catalase et le test de diacétyle, donner aux premières une certaine valeur qualitative. Si la teneur en diacétyle est élevée avec un indice de catalase élevé, c'est que l'action de la flore hétérogène n'est pas tellement préjudiciable à la production de l'arôme et c'est déjà là un gros élément de qualité du beurre. Si par contre, avec un indice moyen de catalase, nous n'avons qu'une faible teneur en diacétyle, il est fort possible que ce soit l'action de la flore hétérogène qui contrarie le développement de l'arôme.

Ces quelques considérations suffisent à montrer l'étroite interdépendance entre les facteurs en cause.

a) Dans les beurres faits de crèmes fraiches.

Pour étudier l'action respective des divers facteurs envisagés, nous avons considéré séparément le cas des crèmes fraîches (tableaux 1 à 6) et le cas des crèmes fermières (tableaux 7 à 8). Le cas de ces dernières est beaucoup plus complexe à cause des altérations survenues au cours du séjour à la ferme et des traitements spéciaux qu'elles peuvent ensuite subir à la laiterie.

Pour étudier le cas des crèmes fraîches, nous avons dressé divers tableaux où nous étudions (tableau 1) l'influence de la pureté microbiologique (catalase) au sein de chacune des catégories de teneurs en diacétyle, celles-ci étant 0 (qui englobe pratiquement les teneurs inférieures à 0,5 mgr. par kg. de beurre), 0,5 à 1 mgr. par kg. et 1 mgr. ou plus par kg. Les catégories de catalase sont respectivement : 0 à 1, ce qui correspond à un beurre très propre (1 n'est pas compris dans cette catégorie) ; 1 à 4, ce qui correspond déjà à une certaine infection ; 4 et au-dessus, ce qui correspond à une forte infection. Corrélativement, le tableau 2 donne pour chacune des catégories de pureté microbiologique, l'influence de la teneur en diacétyle. Ces influences s'expriment en indiquant chaque fois le pourcentage des cotations d'expertise qui se rencontrent dans chacune des trois grandes catégories : cotations égales ou supérieures à 35 (35 correspond à la marque de contrôle) ; cotations de 30 à 35 et cotations inférieures à 30.

Les tableaux 1 et 2 envisagent le cas des beurres faits de crèmes de toute première fraîcheur séparées à la laiterie et ayant des valeurs au test A. N. P. inférieures ou égales à 3.

Les tableaux 3 et 4 envisagent le cas des beurres faits de mélanges de crèmes séparées à la laiterie et de crèmes fermières ou de beurres témoignant déjà d'une certaine altération, l'indice A. N. P. de ces beurres étant supérieur à 3.

Dans chacun de ces tableaux, comme d'ailleurs dans les tableaux 5 à 8, nous n'avons pris en considération que les beurres ne présentant pas uniquement des défauts d'oxydation (oxydés, graisseux, beurres à goût de poisson, etc) ou des défauts dus au traitement thermique (goût de cuit, goût de brûlé).

L'importance de la teneur en diacétyle comme facteur déterminant de la cotation des experts, saute aux yeux. Avec une teneur en diacétyle inférieure à 0,5 mgr. par kg., il n'y a que 53,1 % des beurres qui atteignent ou dépassent la cote 35. Autrement dit, avec cette teneur, on n'a qu'environ 50 % de chance de faire un beurre qui obtienne la marque de contrôle.

Par contre, à l'extrême opposé, dans le cas d'un beurre ayant une teneur en diacétyle d'au moins 1 mgr. par kg., on a 87,2 % de chances que le beurre soit classé en «marque de contrôle» et même 91,3 % de chances si la flore est irréprochable.

Le cas de la teneur en diacétyle inférieure à 0,5 mgr. par kg. alors que la flore est parfaite paraît peut-être un peu énigmatique à première vue (voir tableau 1). Il peut s'agir de beurres où la fermentation n'a pas été poussée ; il s'agit surtout de cas où la fermentation des crèmes a été défectueuse soit à cause du ferment, soit à cause de la technique. Ces cas ne constituent heureusement qu'un pourcentage assez restreint (moins de 5 %) ; ils laissent aussi malgré tout un pourcentage élevé de déchets (58,9 % en «marque de contrôle»).

Pratiquement, nous constatons donc que les résultats sont déjà favorables quand la teneur en diacétyle est de 0,5 à 1 mgr./kg. et surtout quand elle est au moins de 1 mgr. par kg.

A l'aide des résultats présentés dans les tableaux 1 et 2, on peut également tenter de comparer l'influence respective de la pureté de flore et de la teneur en diacétyle, et nous aboutissons aux constatations suivantes qui soulignent l'action prédominante de la teneur en diacétyle :

Catalase	% de Cotations d'expertise ⩾ 35	Diacétyle mgr/kg	% de Cotations d'expertise ⩾ 35
⩾ 4	60,7 %	0	53,1 %
1 - 4	72,0 %	0,5 - 1	71,6 %
0 - 1	82,7 %	1	87,2 %

Le tableau donnant les écarts des pourcentages de cotations d'expertise d'au moins 35 à l'intérieur de chaque classe de catalase et de chaque classe de diacétyle d'après les variations de l'autre élément, est peut-être encore plus suggestif :

Catalase	Écarts des % des cotations d'expertise ⩾ 35 d'après les variations en diacétyle dans chacune des classes	Diacétyle	Écarts des % des cotations d'expertise ⩾ 35 d'après les variations de la catalase dans chacune des classes
⩾ 4	41,4 %	0	13,4 %
1 - 4	20,8 %	0,5 - 1	13,7 %
0 - 1	32,4 %	⩾ 1	8,6 %

Les tableaux 3 et 4 nous permettent, par comparaison avec les tableaux 1 et 2, de deviner la part d'influence due à l'A. N. P., donc à l'état d'intégrité de la matière grasse, influence très sensible également si l'on considère les données synthétiques rapprochées dans le tableaux ci-après :

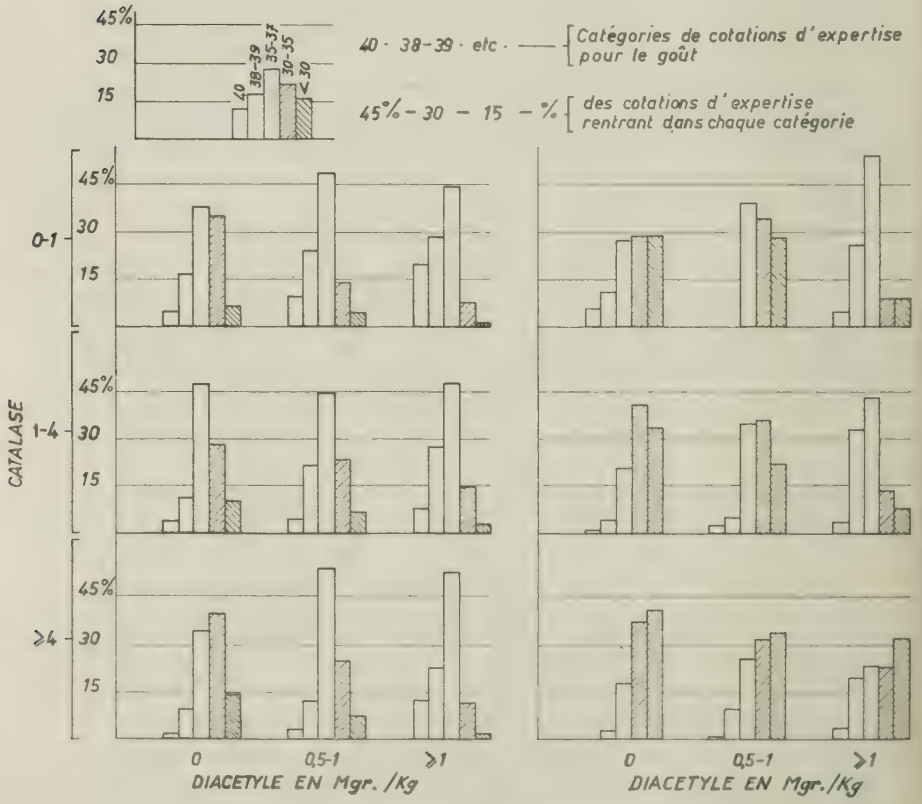
Diacétyle	Catalase	% des cotations d'expertise ⩾ 35	
		A.N.P. ⩽ 3	A.N.P. > 3
0	0 - 1	58,9 %	42,8 %
	1 - 4	61,9 %	25,9 %
	⩾ 4	45,5 %	20,9 %
0,5 - 1	0 - 1	**81,7** %	38,8 %
	1 - 4	**70,2** %	42,4 %
	⩾ 4	**68,0** %	35,1 %
⩾ 1	0 - 1	**91,3** %	**83,3** %
	1 - 4	**82,7** %	**78,4** %
	⩾ 4	**86,9** %	45,4 %

Pratiquement, quand l'A. N. P. est supérieur à 3, on ne rencontre de chances sérieuses d'avoir une cotation supérieure à 35 que dans le cas d'une teneur en diacétyle d'au moins 1 mgr. par kg. et dans des beurres propres (catalase 0-1 ou 1-4), ce qui limite sérieusement les chances en comparaison de ce qu'elles sont dans le cas de l'A. N. P. inférieur ou égal à 3.

Si, comme nous l'avons fait pour les tableaux 1 et 2, nous examinons également dans le cas des beurres dont l'A. N. P. est supérieur à 3, l'influence respective de la teneur en diacétyle et de l'indice de catalase, nous aboutis-

sons aux constatations ci-après qui confirment sensiblement ce que nous avons dit pour l'autre cas :

Catalase	% des Cotations d'expertise ⩾ 35	Diacétyle mgr/kg	% des Cotations d'expertise ⩾ 35
⩾ 4	27,1 %	0	23,4 %
1 - 4	44,8 %	0,5 - 1	37,7 %
0 - 1	64,3 %	⩾ 1	74,3 %



GRAPHIQUE I : Beurres de crèmes fraîches.

A. N. P. ⩽ 3 A. N. P. > 3

Catalase	Écarts des % des cotations d'expertise ⩾ 35 d'après les variations en diacétyle dans chacune des classes	Diacétyle	Écarts des % des cotations d'expertise ⩾ 35 d'après les variations de la catalase dans chacune des classes
⩾ 4	24,5 %	0	21,9 %
1 - 4	52,5 %	0,5 - 1	3,7 %
0 - 1	40,5 %	⩾ 1	37,9 %

Si l'on envisage de subdiviser la colonne des cotations égales ou supérieures à 35 du tableau 2 en diverses catégories, soit cotations supérieures à 40, cotations de 38 et 39, cotations de 35 à 37, on remarque (tableau 5) que s'affirme encore plus nettement la tendance des experts à se laisser guider avant tout par l'arôme exprimé par la teneur en diacétyle. C'est ainsi que pour une teneur en diacétyle d'au moins 1mgr. par kg. pour des beurres dont la catalase est de 0 à 1 ; 19,6 % des cotations sont supérieures à 40, tandis que pour une teneur en diacétyle inférieure à 0,5 mgr. par kg. et une catalase égale ou supérieure à 4,0, ce pourcentage tombe à 1,4.

Le partie gauche du graphique I illustre de façon très démonstrative cette situation. En parcourant chaque rangée de gauche à droite, on se rend parfaitement compte de l'influence du diacétyle.

On voit que pour des beurres de crèmes fraîches avec des teneurs d'au moins 1 mgr. de diacétyle par kg. et préparés avec les soins d'asepsie requis, il y a 47,5 % de chances de fabriquer un beurre atteignant une cotation d'au moins 38.

Le tableau 6 et la partie droite du graphique I montrent que dès que l'A. N. P. s'élève au-dessus de 3, la situation se détériore fortement comme nous l'avons déjà constaté précédemment et que le pourcentage des cotations supérieures à 40 devient très réduit.

b) Dans les beurres faits de crèmes fermières.

La nature de la matière première joue également un rôle assez marqué. Même avec des indices A. N. P. comparables, les crèmes fermières ne donnent pas des résultats aussi favorables que les crèmes fraîches. Il suffit à cet égard de comparer respectivement les tableaux 5 et 7, 6 et 8 ainsi que les graphiques I et II.

La synthèse ci-après est d'ailleurs très suggestive :

A.N.P. $\leqslant$ 3

% des cotations d'expertise d'au moins 35

Catalase	Diacétyle	Crèmes fraîches	Crèmes fermières
0 - 1	0	58,9 %	64,6 %
	0,5 - 1	**81,7** %	60,0 %
	$\geqslant$ 1	**91,3** %	**64,2** %
1 - 4	0	61,9 %	35,1 %
	0,5 - 1	**70,2** %	42,5 %
	$\geqslant$ 1	**82,7** %	**79,2** %
$\geqslant$ 4	0	45,5 %	35,5 %
	0,5 - 1	**68,0** %	35,5 %
	$\geqslant$ 1	**86,9** %	44,3 %

A.N.P. $>$ 3

% des cotations d'expertise d'au moins 35

Catalase	Diacétyle	Crèmes fraîches	Crèmes fermières
0 - 1	0	42,8 %	(42,8 %)
	0,5 - 1	38,8 %	(42,6 %)
	$\geqslant$ 1	**83,3** %	(78,5 %)
1 - 4	0	25,9 %	22,7 %
	0,5 - 1	42,4 %	32,0 %
	$\geqslant$ 1	**78,4** %	36,0 %
$\geqslant$ 4	0	20,9 %	8,3 %
	0,5 - 1	35,1 %	38,1 %
	$\geqslant$ 1	45,4 %	21,7 %

Si l'on considère les défauts dominants qui se marquent dans les beurres dont la cotation est inférieure à celle exigée pour la marque de contrôle, soit 35, nous constatons que les défauts dominants sont : goût acide, goût de levure, goût caséeux.

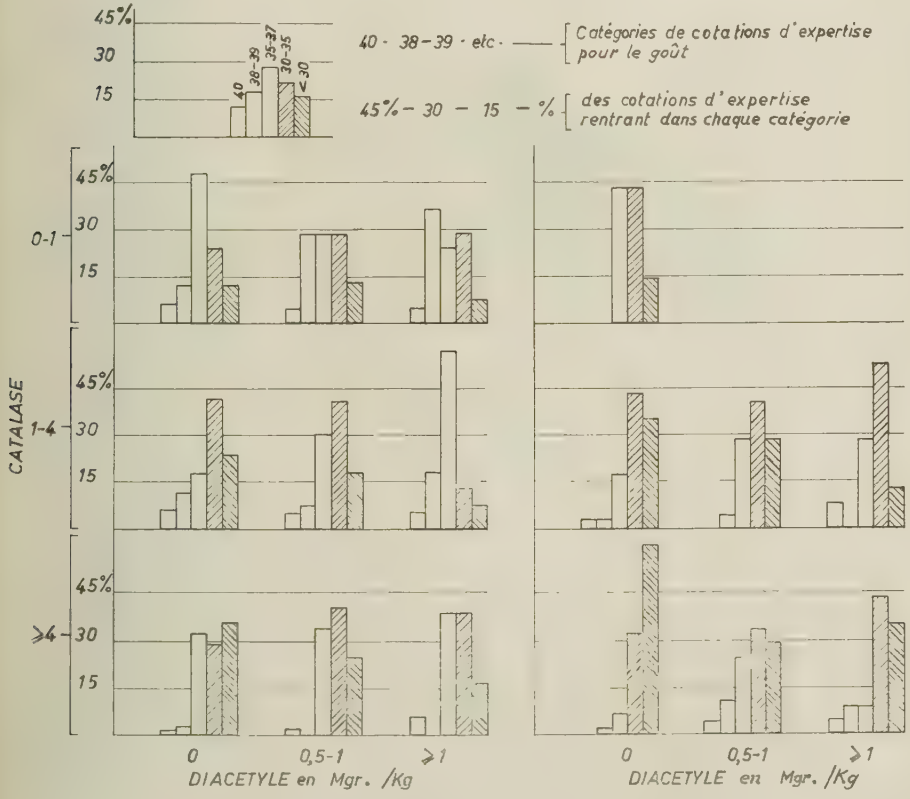
Dans les beurres de crèmes fraîches, il y a plutôt prédominance de goûts acides et de goûts de levure (Tableau 9) tandis que pour les crèmes fermières il y a forte prédominance de goûts caséeux (Tableau 10).

Dans l'ensemble la situation se présente comme suit :

	Acides et levures	Caséeux
Crèmes fraîches		
A.N.P. $\leqslant 3$	36,7 %	22,6 %
A.N.P. > 3	26,9 %	26,9 %
Crèmes fermières		
A.N.P. $\leqslant 3$	9,3 %	42,4 %
A.N.P. > 3	5,1 %	38,4 %

Pour les défauts dénommés «acide» et «goût de levure», il s'agit généralement d'infections par levures ou de fermentations anormales.

Pour les défauts « caséeux », il s'agit sans doute plus souvent, surtout dans le cas de crèmes fermières, d'altérations survenues déjà dans la crème au cours du séjour à la ferme.



GRAPHIQUE II : Beurres de crèmes fermières

A. N. P. $\leqslant 3$ A. N. P. > 3

TABLEAU I — A N P ⩽ 3 — **Beurres de crèmes fraîches**

Diacétyle mgr/kg	Catalase	Nombre total d'échantillons	% des Cotations d'expertise dans chaque catégorie					
			⩾ 35		30 à 35		< 30	
0	0 — 1	95	56	58.9 %	33	34.7 %	6	6.3 %
	1 à 4	210	130	61.9 %	59	28.1 %	21	10.0 %
	⩾ 4	316	144	45.5 %	126	39.8 %	46	14.5 %
		621	330	53.1 %	218	35.1 %	73	11.7 %
0,5 à 1	0 à 1	137	112	**81.7** %	19	13.8 %	6	4.3 %
	1 à 4	279	196	**70.2** %	64	22.9 %	19	6.8 %
	⩾ 4	275	187	**68.0** %	68	24.7 %	20	7.2 %
		691	495	71.6	151	21.8 %	45	6.5 %
⩾ 1	0 à 1	277	253	**91.3** %	21	7.5 %	3	1.0 %
	1 à 4	243	201	**82.7** %	35	14.4 %	7	2.8 %
	⩾ 4	107	93	**86.9** %	12	11.2 %	2	1.8 %
		627	547	87.2 %	68	10.8 %	12	1.9 %

TABLEAU 2 — A N P ⩽ 3 — **Beurres de crèmes fraîches**

Catalase	Diacétyle mgr/kg	Nombre total d'échantillons	% des Cotations d'expertise dans chaque catégorie					
			⩾ 35		30 à 35		< 30	
0 à 1	0	95	56	58.9 %	33	34.7 %	6	6.3 %
	0,5 à 1	137	112	**81.7** %	19	13.8 %	6	4.3 %
	⩾ 1	277	253	**91.3** %	21	7.5 %	3	1.0 %
		509	421	82,7 %	73	14,3 %	15	2,9 %
1 à 4	0	210 *i*	130	61,9 %	59	28,1 %	21	10,0 %
	0,5 à 1	279	196	**70,2** %	64	22,9 %	19	6,8 %
	⩾ 1	243	201	**82,7** %	35	14,4 %	7	2,8 %
		732	527	72,0 %	158	21,5 %	47	6,4 %
⩾ 4	0	316	144	45,5 %	126	39,8 %	46	14,5 %
	0,5 à 1	275	187	68,0 %	68	24,7 %	20	7,2 %
	⩾ 1	107	93	86,9 %	12	11,2 %	2	1,8 %
		698	424	60,7 %	206	29,5 %	68	9,7 %

TABLEAU 3 — A N P > 3 — **Beurres de crèmes fraîches**

Diacétyle mgr/kg	Catalase	Nombre total d'échantillons	% des Cotations d'expertise dans chaque catégorie					
			⩾ 35		30 à 35		< 30	
0	0 - 1	21	9	42,8 %	6	28,5 %	6	28,5 %
	1 - 4	81	21	25,9 %	33	40,7 %	27	33,3 %
	⩾ 4	239	50	20,9 %	90	37,6 %	99	41,4 %
		341	80	23,4 %	129	37,8 %	132	38,7 %
0,5 - 1	0 - 1	18	7	38,8 %	6	33,3 %	5	27,7 %
	1 - 4	73	31	42,4 %	26	35,6 %	16	21,9 %
	⩾ 4	131	46	35,1 %	41	31,2 %	44	33,5 %
		222	84	37,7 %	73	32,9 %	65	29,2 %
⩾ 1	0 - 1	48	40	**83,3** %	4	8,3 %	4	8,3 %
	1 - 4	51	40	**78,4** %	7	13,7 %	4	7,8 %
	⩾ 4	22	10	45,4 %	5	22,7 %	7	31,8 %
		121	90	74,3 %	16	13,2 %	15	12,4 %

TABLEAU 4 — A N P > 3 — **Beurres de crèmes fraîches**

Catalase	Diacétyle mgr/kg	Nombre total d'échantillons	% des Cotations d'expertise dans chaque catégorie					
			⩾ 35		30 à 35		< 30	
0 - 1	0	21	9	42,8 %	6	28,5 %	6	28,5 %
	0,5 - 1	18	7	38,8 %	6	33,3 %	5	27,7 %
	⩾ 1	48	40	**83,3** %	4	8,3 %	4	8,3 %
		87	56	64,3 %	16	18,4 %	15	17,2 %
1 - 4	0	81	21	25,9 %	33	40,7 %	27	33,3 %
	0,5 - 1	73	31	42,4 %	26	35,6 %	16	21,9 %
	⩾ 1	51	40	**78,4** %	7	13,7 %	4	7,8 %
		205	92	44,8 %	66	32,2 %	47	22,9 %
⩾ 4	0	239	50	20,9 %	90	37,6 %	99	41,4 %
	0,5 - 1	130	46	35,1 %	41	31,2 %	44	33,5 %
	⩾ 1	22	10	45,4 %	5	22,7 %	7	31,8 %
		391	106	27,1 %	136	34,7 %	150	38,3 %

TABLEAU 5 A N P ⩽ 3 **Beurres de crèmes fraîches**

Catalase	Diacétyle mgr/kg	% des Cotations d'expertise dans chaque catégorie				
		⩾ 40	38 et 39	35 à 37	30 à 35	< 30
0 - 1	0	4,9 %	16,4 %	37,6 %	34,7 %	6,3 %
	0,5 - 1	9,4 %	23,8 %	48,5 %	13,8 %	4,3 %
	⩾ 1	19,6 %	27,9 %	43,8 %	7,5 %	1,0 %
1 - 4	0	3,9 %	11,1 %	46,9 %	28,1 %	10,0 %
	0,5 - 1	4,4 %	21,3 %	44,5 %	22,9 %	6,8 %
	⩾ 1	8,0 %	27,5 %	47,2 %	14,4 %	2,8 %
⩾ 4	0	1,4 %	9,4 %	34,7 %	39,8 %	14,5 %
	0,5 - 1	3,0 %	11,6 %	53,4 %	24,7 %	7,2 %
	⩾ 1	12,2 %	22,3 %	52,4 %	11,2 %	1,8 %

TABLEAU 6 A N P > 3 **Beurres de crèmes fraîches**

Catalase	Diacétyle mgr/kg	% des Cotations d'expertise dans chaque catégorie				
		⩾ 40	38 et 39	35 à 37	30 à 35	< 30
0 - 1	0	5,5 %	10,7 %	26,8 %	28,5 %	28,5 %
	0,5 - 1	—	—	38,8 %	33,3 %	27,7 %
	⩾ 1	4,6 %	25,4 %	53,3 %	8,3 %	8,3 %
1 - 4	0	1,1 %	4,5 %	20,3 %	40,7 %	33,3 %
	0,5 - 1	2,5 %	5,1 %	34,8 %	35,6 %	21,9 %
	⩾ 1	3,2 %	32,5 %	42,7 %	13,7 %	7,8 %
⩾ 4	0	—	2,9 %	17,6 %	37,0 %	40,7 %
	05, - 1	0,7 %	9,2 %	25,2 %	31,2 %	33,5 %
	⩾ 1	3,2 %	19,2 %	22,8 %	22,7 %	31,8 %

TABLEAU 7 — A N P ⩽ 3 — **Beurres de crèmes fermières**

Catalase	Diacétyle mgr/kg	% des Cotations d'expertise dans chaque catégorie				
		⩾ 40	38 et 39	35 à 37	30 à 35	< 30
0 - 1	0	5,8 %	11,7 %	47,1 %	23,5 %	11,7 %
	0,5 - 1	4,0 %	28,0 %	28,0 %	28,0 %	12,0 %
	⩾ 1	4,7 %	35,7 %	23,8 %	28,5 %	7,1 %
1 - 4	0	5,8 %	11,7 %	17,6 %	41,1 %	23,5 %
	0,5 - 1	5,0 %	7,5 %	30,0 %	40,0 %	17,5 %
	⩾ 1	5,1 %	17,9 %	56,2 %	12,8 %	7,7 %
⩾ 4	0	1,3 %	2,6 %	31,6 %	29,0 %	35,5 %
	0,5 - 1	2,2 %	—	33,3 %	40,0 %	24,4 %
	⩾ 1	5,5 %	—	38,8 %	38,8 %	16,6 %

TABLEAU 8 — A N P > 3 — **Beurres de crèmes fermières**

Catalase	Diacétyle mgr/kg	% des Cotations d'expertise dans chaque catégorie				
		⩾ 40	38 et 39	35 à 37	30 à 35	< 30
0 - 1	0	—	—	(42,8 %	42,8 %	(14,2 %)
	0,5 - 1	(14,2 %)	(14,2 %)	(14,2 %)	(28,5 %)	(28,5 %)
	⩾ 1	—	—	(78,5 %)	(21,4 %)	—
1 - 4	0	2,8 %	2,8 %	17,1 %	42,8 %	34,3 %
	0,5 - 1	—	4,0 %	28,0 %	40,0 %	28,0 %
	⩾ 1	8,0 %	—	28,0 %	52,0 %	12,0 %
⩾ 4	0	—	1,8 %	6,5 %	31,8 %	59,6 %
	0,5 - 1	3,9 %	10,5 %	23,7 %	32,8 %	29,0 %
	⩾ 1	4,3 %	8,7 %	8,7 %	43,5 %	34,8 %

TABLEAU 9 **Beurres de crèmes fraîches**

Diacétyle	Catalase	% des Cotations de goût en-dessous de 35							
		ANP ⩽ 3				ANP > 3			
		Acide et levure		Caséeux		Acide et levure		Caséeux	
0	0 - 1	18/39	46,2 %	6/39	15,4 %	6/12	50,0 %	3/12	25,6 %
	1 - 4	29/80	36,2 %	17/80	22,2 %	21/60	35,1 %	16/60	26,7 %
	⩾ 4	56/172	32,5 %	38/172	21,2 %	41/189	21,6 %	58/189	30,6 %
0,5 à 1	0 - 1	6/25	24,0 %	8/25	32,1 %	1/11	9,0 %	2/11	18,1 %
	1 - 4	31/83	37,4 %	20/83	24,1 %	12/42	28,5 %	6/42	14,2 %
	⩾ 4	40/88	45,4 %	19/88	21,6 %	31/85	36,4 %	20/85	23,5 %
⩾ 1	0 - 1	12/24	50,0 %	5/24	20,8 %	0/8	0,0 %	1/8	12,5 %
	1 - 4	11/12	26,7 %	12/42	28,5 %	3/11	27,3 %	6/11	54,6 %
	⩾ 4	5/14	35,7 %	3/14	21,3 %	1/12	8,3 %	4/12	33,3 %

TABLEAU 10 **Beurres de crèmes fermières**

Diacétyle	Catalase	% des Cotations de goût en-dessous de 35							
		ANP ⩽ 3				ANP > 3			
		Acide et levure		Caséeux		Acide et levure		Caséeux	
0	0 - 1	0/6	0,0 %	0/6	0,0 %	1/4	25,0 %	1/4	25,0 %
	1 - 4	0/22	0,0 %	11/22	50,0 %	1/27	3,7 %	8/27	29,6 %
	⩾ 4	7/49	14,2 %	23/49	46,9 %	5/98	5 ,1 %	40/98	40,8 %
0,5 - 1	0 - 1	0/10	0,0 %	4/10	40,0 %	0/4	0,0 %	3/4	75,0 %
	1 - 4	3/23	13,0 %	10/23	43,4 %	1/17	5,9 %	7/17	41,1 %
	⩾ 4	5/29	17,2 %	13/29	44,8 %	1/47	2,1 %	20/47	42,5 %
⩾ 1	0 - 1	0/15	0,0 %	8/15	53,3 %	0/3	0,0 %	1/3	33,3 %
	1 - 4	0/8	0,0 %	3/8	37,5 %	2/16	12,5 %	4/16	25,0 %
	⩾ 4	1/10	10,0 %	1/10	10,0 %	1/18	5,5 %	6/18	33,3 %

BIBLIOGRAPHIE.

1. E. PIRAUX et E. HOTE-BAUDART (1959). L'appréciation de l'état d'oxydation du beurre frais par des tests de laboratoire. *Bulletin Inst. Agron. et Station de Recherches. Gembloux*, T. XXVI n° 4, p. 377.
2. T. V. ARMSTRONG and W. J. HARPER (1952). The Alpha-Naphtolphtalein (A. N. P.) method for measuring fat hydrolysis. I. Application to butter. II. Application to cream. *J. of Dairy Sc.*, XXXV, pp. 59-64 et 342-349.
3. G. LOFTUS-HILLS, L. R. SHARP and T. S. BELLAIR (1934). A study of factors influencing the keeping quality of some Victorian salted butters in cold storage. *J. of Dairy Res.*, 5, 2, p. 128.
4. J. PIEN, J. BAISSE, R. MARTIN (1957). Le dosage du diacétyle dans les beurres. *Le Lait*, 17, p. 673.
5. E. A. PRILL and B.W. HAMMER (1938). A colorimetric method for the microdetermination of diacetyl. *Iowa State College Jour. Sci.*, 12, pp. 385-395.
5. KRUISHEER C. I., DEN HERDER P. C. en SMIT W. C. (1940). *Het bacteriologisch-chemisch Kwaliteitsonderzoek der Nederlandsche Keuringsboter*. 's Gravenhage, Algemeene Landsdrukkerij, pp. 30 et 32.
7. S. KNUDSEN en M. JENSEN (1933). Quelques recherches sur la conservation du beurre. Comment on peut déceler les défauts d'origine bactérienne et comment ils débutent. *Le Lait*, 13, p. 708.
8. G. C. RUESS-CALLAGHAN (1935). *Scient. Proc. Roy. Dub. Soc.*, 21, p. 253.
9. F. BOBECK (1940). *Svenska Mejeritidningen*, 32, p. 161.
10. J. W. PETTE (1949). De beteekenis van het boteraroma voor de practijk. *Verslagen van Landbouwk. Onderz.*, n° 55, p. 9.
11. F. G. HILLIG (1947). Determination of water insoluble fatty acids in cream and butter. *J. Assoc. off. agr. chem.*, 30, p. 575.

INTÉRÊT PRATIQUE QUE PRÉSENTENT LE TEST A. N. P., LE TEST DE LA CATALASE ET LE TEST DU DIACÉTYLE COMME MOYENS D'APPRÉCIER LA QUALITÉ DU BEURRE.

RÉSUMÉ.

Dans le cadre d'un travail sur la confrontation entre les qualités organoleptiques des beurres et les résultats de tests de laboratoire, les auteurs examinent l'intérêt pratique de divers tests comme moyens d'apprécier la qualité du beurre : test A. N. P., test du diacétyle, test de la catalase.

Par des tableaux et des graphiques statistiques, ils montrent que chacun de ces trois tests constitue un moyen important d'apprécier la qualité du beurre : le test A. N. P. en ce qui concerne le degré de fraîcheur de la matière première ; le test de la catalase en ce qui concerne le soin apporté à éviter la réinfection ; le test du diacétyle en ce qui concerne l'arôme.

Il semble cependant que, lorsqu'on juge un beurre après conservation à 13° C pendant 8 jours, la teneur en diacétyle soit le facteur le plus important pour déterminer l'appréciation des experts.

PRAKTISCH BELANG VAN DE A. N. P. TEST, VAN DE DIACETYLTEST, VAN DE KATALASETEST, OM HET RESULTAAT VAN DE ORGANOLEPTISCHE KEURING VAN BOTER TE BEVESTIGEN.

SAMENVATTING.

In het raam van een werk over de vergelijking tussen de organoleptische eigenschappen van de boter en de uitslagen van laboratoriumtesten, onderzoeken de schrijvers het praktische belang van verscheidene proeven om de kwaliteit van de boter te waarderen : A. N. P. proef, diacetylproef, katalase proef.

Met statistische tabels of graphieken, wijzen zij aan dat elk van deze proeven een belangrijk middel is om de hoedanigheid van de boter te waarderen : de A. N. P. test, voor de frischheid van de grondstof, de katalasetest, voor de zorg om de reinfectie te vermijden en de diacetyltest om het aroma te bepalen.

Nochtans schijnt het dat, als men een boter 8 dagen bewaard aan 13° C keurt, het diacetylgehalte de belangrijkste factor is om het oordeel van de keurmeesters te richten.

PRACTICAL VALUE OF THE A. N. P. TEST, THE DIACETYLTEST, THE CATALASETEST TO APPRECIATE THE BUTTER QUALITY.

SUMMARY

In the course of research work on the comparison between the flavour of butter and the results of laboratoriumtests, the authors examine the practical value of several tests to appreciate the butter quality : A. N. P. test, diacetyltest, catalasetest.

With statistical tables and diagrams, they prove that each of these tests an important way is to appreciate the butter quality : the A. N. P. test, for the freshness of the raw material ; the catalase test, for the care to avoid the reinfection ; the diacetyltest, for the aroma.

Yet it seems that when a butter is examined after being kept 8 days at 13° C, the diacetyl content is almost the most important factor to guide judges in the butter scoring.

PRAKTISCHE BEDEUTUNG DER A. N. P. PROBE, DER DIACETYLPROBE ODER DER KATALASEPROBE, UM DIE BUTTERQUALITÄT ZU BEURTEILEN.

ZUSAMMENFASSUNG.

Im Rahmen Versuche auf die Vergleichung zwischen die Qualität der Butter und die Ergebnisse Laboratoriumproben, verhandelen die Autoren die praktische Bedeutung verschiedener Proben um die Butterqualität zu beurteilen : A. N. P. probe, Diacetylprobe, Katalaseprobe.

Mit statistische Tafeln und graphische Darstellungen, erweisen Sie dass jede dieser drei Proben ein wichtige Mittel ist um die Butterqualität zu beurteilen : die A. N. P. probe, was die Frische des Grundstoffes betrifft ; die Katalaseprobe, was die Sorge um die Reinfektion zu vermeiden betrifft ; die Diacetylprobe was das Aroma betrifft.

Es scheint jedoch dass wenn mann eine Butterprobe vorher bei 13 C° 8 Tage gelagert prüft, das Diacetylgehalte der wichtigste Faktor ist um den Urteil der Richter zu bestimmen.

Encyclopédie Agronomique et Vétérinaire

MANUEL DE L'AMÉLIORATION DES PLANTES

par **V. LATHOUWERS**

Docteur ès Sciences. Professeur à l'Institut agronomique de l'État à Gembloux

Tome I : **L'Amélioration générale** — **En réimp.**
Tome II : **L'Amélioration du Froment**, 580 pp., 66 fig. — **150,00**

LE CHÊNE PÉDONCULÉ ET LE CHÊNE ROUVRE

Leur culture en Belgique

par **A. POSKIN**

Professeur à l'Institut agronomique de l'État, à Gembloux.

1 vol. 283 p., 54 fig., 1 carte en couleurs. — br. **65,00**

PHYTOTECHNIE DE L'HEVEA — (HEVEA BRASIL.)

Botanique — Amélioration — Culture et Exploitation

par **M. FERRAND**

Ingénieur Agronome (A. I. Gx), Chef de la Division de l'Hevea de l'I N É A C, Direc. du Centre de Rech. de l'Inst. de Rech. pour les Huiles de Palme et Oléagineux de Paris

1 vol. 432 p., 67 fig., 2 hors-texte — **110,00**

ÉLÉMENTS DE MICROBIOLOGIE GÉNÉRALE ET AGRICOLE

par **G. VERPLANCKE**

Chargé de cours à l' Université de Gand et à l'Institut agronomique de Gand

1 vol. in-8°, 328 pp., 105 fig. — **Épuisé**

LES BOVINS

par **J. LAHAYE** et **J. MARCQ**

Professeur à l'École de Méd. vétérinaire, à Cureghem. Professeur à l'Institut agronomique à Gx.

Tome I : **La Connaissance du Bétail**, 1 vol. in-8°, 208 pp., 166 fig. — **130,00**
Tome II : *Volume* 1. **Ethnographie. Hygiène. Reproduction.** — **En réimpr.**
Volume 2. **Alimentation**, 1 vol. in-8°, 644 pp., 20 fig. — **En réimpr.**

TRAITÉ DE PATHOLOGIE MÉDICALE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

par **F. LIÉGEOIS**

Professeur à l'École de médecine vétérinaire, à Cureghem.

1 vol. XXVI-926 p., 4e édition, 1955. — **560,00**

LA FERTILISATION DU SOL ET LES ENGRAIS

par **R. MEURICE**

Docteur en Sciences. Directeur de la Stat. de Chimie et de Physique Agric. de l'Etat, à Gx.

1 vol. in-8° ill., 280 p. — **Épuisé**

TRAITÉ D'ÉCONOMIE RURALE

par **A. DELOS**

Professeur à l'Institut agronomique de l'État, à Gembloux.

Tome I : **La Terre**, 1 vol. in-8°, 280 pp., 25 fig., — br. **50,00**
Tome II : **Le Capital d'exploitation**, 1 vol. in-8°, 372 pp., — **Épuisé**

PRÉCIS DE DROIT VÉTÉRINAIRE

par **F. LIÉGEOIS**

Professeur à l'École de médecine vétérinaire, à Cureghem

1 vol. in-8°, 332 pp. br. **60,00**

TRAITÉ COMPLET D'AVICULTURE

par **J. LAHAYE, J MARCQ** et **E. CORDIEZ**

Prof. à l'École de Médecine vétérinaire, à Cureghem. *Prof. à l'Institut agronomique à Gx.*

1 vol. in-8°, 660 pp., 219 fig., 9 hors-texte en quadrichromie, br. **375,00**

LE CHEVAL

par **J. MARCQ** et **J. LAHAYE**

Prof. à l'Institut agron. à Gx. *Prof. à l'École de médecine vétérinaire, à Cureghem*

Tome I : **Extérieur du Cheval**, 304 pp., 193 fig. br. **175,00**

Tome II : **Zootechnie spéciale. Alimentation. Hygiène. Amélioration.** br. **425,00**

LA CANNE A SUCRE AUX ANTILLES FRANÇAISES

par **J. GUILLAUME**

Ingénieur, Chef de Fabrication aux Antilles.

1 vol. in-8°, IX-215 pp., fig. br. **56,00**

ÉLÉMENTS DE PATHOLOGIE VÉGÉTALE

appliquée à la Phytotechnie

par **Ém. MARCHAL**

Professeur émérite à l'Institut agronomique de l'État, à Gembloux.

P. MANIL et **R. VANDERWALLE**

Professeur à l'Institut agron. de Gembloux. *Chargé de cours à l'Inst. agron. de Gembloux.*

1 vol. in-8°, XXVI-540 pp., 205 fig. br. **290,00**

ÉLÉMENTS DE PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE

Les bases scientifiques de la Phytotechnie

par **Ém. MARCHAL**

Professeur à l'Institut agronomique de l'État, à Gembloux.

1 vol. in-8°, XVI-344 pp., 131 fig. br. **225,00**

TRAITÉ DE SYLVICULTURE

par **A. POSKIN**

Professeur à l'Institut agronomique de l'État, à Gembloux.

1 vol. in-8°, 532 pp., 166 fig. br. **260,00**

A TRAVERS LES FORÊTS DE PINSAPO D'ANDALOUSIE

Étude de Dendrologie, de Sylviculture et d'Entomologie forestière.

par **A. BARBEY**

Expert forestier, Docteur ès Sciences.

1 vol. in-8°, 110 pp., 41 pl., br. **40,00**